H. CUNY

Werner Heisenberg

şi mecanica cuantică

Colecţia „Savanţi de pretutindeni"

EDITURA ŞTIINŢIFICĂ

Lucrarea lui H. Cuny, consacrată vieții și activității creatoare a marelui fizician Werner Heisenberg, unul din făuritorii principali ai mecanicii cuantice, este totodată o imagine expresivă a evoluției gîndirii teoretice din fizica veacului nostru. Scrisă vioi, plină de fapte interesante și instructive, cartea lui Cuny captivează prin bogăția de date referitoare la viața și mai ales la activitatea lui Heisenberg, nelipsind, desigur, analiza fină a momentelor dramatice și a confruntărilor prin care au trecut căutările febrile și orientările teoretice ale fizicii microcosmosului, de la începuturile ei și pînă în zilele noastre.

H. CUNY

Werner Heisenberg

şi mecanica cuantică

„Savanţi de pretutindeni"

EDITURA ŞTIINŢIFICĂ

Hilaire Cuny
Heisenberg et la mécanique quantique
Colecţia "Savants du monde entier"
Éditions Seghers — Paris — 1966

HILAIRE CUNY

Werner Heisenberg

și mecanica cuantică

București, 1969
EDITURA ȘTIINȚIFICĂ

● În româneşte de Ing. Mihai Livescu
● Supracoperta şi coperta colecţiei de Val. Munteanu

1

Personalitatea lui Helsenberg

În luna aprilie a anului 1957, între guvernul american şi acela al Republicii Federale a Germaniei se duceau tratative în vederea creării de baze atomice în regiunile din vest ale acestei ţări şi a dotării Bundeswehr-ului cu arme nucleare. Se afirma chiar că unele din aceste arme puteau fi puse la punct de tehnicienii germani, sub controlul savanţilor germani, şi că ele urmau să fie fabricate în uzinele de peste Rin.

La 12 aprilie însă, o telegramă expediată din Berlin, anunţa că optsprezece fizicieni germani publicaseră o declaraţie în care afirmau *solemn* că nici unul din ei nu va lua parte, *indiferent în ce mod,* la construirea, experimentarea şi folosirea armelor atomice.

Printre aceşti optsprezece savanţi figurau patru laureaţi ai Premiului Nobel : Max von Laue, Otto Hahn, Max Born şi, mai cu seamă, sublinia presa franceză, Werner Heisenberg, a cărui filozofie are numeroşi admiratori în Franţa.

Şi totuşi, lui Werner Heisenberg nu-i place de loc „publicitatea". Numai cu foarte multă osteneală am obţinut de la el cîteva informaţii care nu figurează în enciclopedii. El îşi apără viaţa particulară în aceeaşi măsură în care îşi apără independenţa de gîndire, lucru ce îi face toată cinstea. Cu atît mai prost pentru biografi !... Werner Heisenberg nu s-a situat în fruntea vreunei mişcări pentru crearea unui guvern mondial, aşa cum a făcut Einstein, şi nici n-a luat conducerea unui organ de luptă pentru pace, ca Frédéric Joliot-Curie. Atunci cînd îşi ridică glasul în dezbaterile contra

războiului şi folosirii armelor nucleare, nu o face ca un revoltat, ci ca specialist conştient de datoria lui de a informa.

„Datoria oamenilor de ştiinţă — spune el — este aceea de a informa în toate amănuntele guvernele lor de distrugerile fără precedent pe care le-ar provoca un război dus cu arme termonucleare. Totodată însă, oamenilor de ştiinţă li se cere adesea să participe la rezoluţii solemne pentru pacea mondială. În legătură cu aceasta, trebuie să mărturisesc că n-am putut găsi niciodată vreo cît de mică utilitate declaraţiilor de acest fel. Asemenea rezoluţii pot apărea drept o probă de bunăvoinţă, care trebuie primită cu plăcere, însă oricine vorbeşte în favoarea păcii, fără să precizeze condiţiile acestei păci, este bănuit, prin forţa lucrurilor, că nu vorbeşte decît de acel fel de pace pe care el sau grupul lui îl socoteşte cel mai bun, lucru ce mi se pare lipsit de valoare. Orice declaraţie cinstită, în favoarea păcii, ar trebui să fie urmată de o enumerare a sacrificiilor pe care cei în cauză sînt gata să le facă pentru apărarea ei...“

Tinereţea

Werner Heisenberg s-a născut în vechea cetate universitară a Würzburg-ului, în luna decembrie a anului 1901, adică în plină euforie a unei Germanii unificate datorită răsunătoarelor victorii ale Prusiei asupra Austriei şi Franţei. Germania de atunci era în plină dezvoltare economică şi financiară. Industria sa grea întrecea, de departe, întreaga industrie a celorlalte ţări europene. Ea era înzestrată de un Kaiser care avea simţămîntul „grandorii“, iar vîntul care sufla printre rîndurile tinerimii purta mireasma şovinismului.

Germania de dinaintea acelui război, care urma să fie numit „mare“, însă care nu era decît „adolescent“, se declara în discursurile ameninţătoare ale împăratului ei drept „pacifistă“. Şi Wilhelm al II-lea dorea, fără nici o îndoială, dar cu sabia în mînă, propria lui pace! Franţa nu era nici ea mai puţin pacifistă, dacă trecem

peste ideile despre „revanşă" care înfloreau în literatura şi în cîntecele sale. Şi, de aceea, de o parte şi de alta, la statele majore se pregătea războiul proaspăt şi vesel, care urma să lichideze pentru totdeauna socotelile cu provocatorii de vizavi.

În clipa chemării bilaterale la arme, Werner Heisenberg avea ceva mai puţin de treisprezece ani, vîrsta entuziasmelor secretate de diencefal, şi desigur că nu tatăl său, August, un profesor de liceu excelent notat, era să fie tocmai acela care să toarne apă rece peste acest patriotism înflăcărat. Datoria impunea înfrîngerea inamicului, iar sloganul *„Gott mit uns"* al militarilor germani promitea victoria pe care adversarul nu o putea spera, cu toate că avea îndrăzneala de a soma pe acelaşi Dumnezeu să salveze Franţa *„au nom du Sacré-Coeur"*...

Nu trebuie să ne îndoim că micul Werner simţea în el o inimă de erou şi că spera sincer că războiul nu se va sfîrşi fără el!

Studii clasice

În aşteptare, tînărul Heisenberg îşi urma studiile de un pronunţat caracter clasic la Maximilians-Gymnasium din München, unde — dacă nu am ţine seama de teribila încercare a înfrîngerii şi de tulburările care au urmat — am fi tentaţi să credem că s-a comportat ca un elev mediocru (nu şi-a luat bacalaureatul decît la vîrsta de nouăsprezece ani, în 1920). Nu împlinise încă optsprezece ani la semnarea armistiţiului, astfel că, pînă la sfîrşit, ţinînd seama şi de propagandă, se putea spera într-o redresare spectaculară. Werner nu fusese chemat „sub drapel" şi, ca toţi cei din generaţia lui care suferiseră privaţiunile alimentare, dar care nu cunoscuseră oroarea tranşeelor, era plin de resentimente şi cu sufletul răvăşit.

„Germania a fost trădată, şi nu bătută; hoarda traficanţilor gata la orice josnicie în faţa ocupanţilor va fi alungată, iar Patria îşi va recăpăta strălucirea." N-ar trebui să ne îndoim că acestea erau gîndurile lui.

Iată, după Robert Jungk, cum îl descria pe tînărul student Heisenberg unul din amicii săi cei mai intimi :

„Avea aerul unui papă-lapte, mai mare decît era el în realitate. Fiindcă aderase la o mişcare de tineret al cărei ideal îl entuziasma, purta cămăşi cu guler răsfrînt şi pantaloni scurţi. Se credea născut sub o zodie favorabilă şi, de fapt, era norocos".

Werner Heisenberg n-a fost totuşi o simplă rotiţă în maşina istoriei. Apăra părerile care îi fuseseră băgate în cap şi nici pînă astăzi n-a crezut necesar să se elibereze complet de aceste condiţionări. Însă el se observa, observa pe alţii şi discuta atît cu ei, cît şi cu sine însuşi.

O povestire de pe timpul cînd avea optsprezece ani este destul de revelatoare :

„În epoca aceea, Münchenul era teatrul luptelor revoluţionare. Împreună cu alţi colegi de clasă şi de aceeaşi vîrstă cu mine, am fost ataşaţi ca auxiliari unui grup de militari care îşi stabiliseră cartierul la seminar, în faţa universităţii. Fără îndoială că săptămînile acelea în care ne jucam de-a soldaţii, ne sustrăgeau în mod plăcut de la studiile noastre la Maximilians-Gymnasium. Centrul oraşului era ocupat de comunişti. Pe Ludwigstrasse se trăgeau din cînd în cînd focuri de armă, însă fără prea mare pasiune. În fiecare zi, la amiază, ne duceam să ne luăm raţiile de alimente de la bucătăria de campanie din curtea universităţii. Aşa s-a întîmplat că într-o zi am avut cu un student în teologie o convorbire a cărei temă era : *«Lupta aceasta pentru München are vreun sens oarecare ?»*.

Unul din colegii mei afirma cu energie că este imposibil să soluţionezi luarea puterii cu ajutorul mijloacelor intelectuale, al discursurilor şi al proclamaţiilor. Numai forţa, afirma el, poate hotărî.

Seminaristul a răspuns că simplul fapt de a pune în discuţie întrebarea «cine va fi definit drept *noi,* şi cine drept *alţii*» conduce la o soluţie pur intelectuală. Şi el a adăugat că *«s-ar putea cîştiga probabil mult dacă această hotărîre ar fi luată într-un mod mai raţional decît cel obişnuit».*

N-am găsit nimic de obiectat. O dată ce săgeata a părăsit coarda arcului, ea îşi urmează direcţia şi numai

o forță superioară ar putea-o devia. Direcția ei inițială este determinată însă numai de acela ce ține, așa că fără o ființă dotată cu rațiune și capabilă să țintească, săgeata s-ar putea să nu zboare de loc."

Concluzia lui Heisenberg : *„Nu este inutil ca tineretul să fie învățat să respecte valorile spirituale".*

Jocul matematic

Între sfîrșitul primului război mondial și începerea celui de-al doilea, viața lui Werner Heisenberg este strîns legată de munca lui. Loc pentru altceva nu exista. El și-o rezumă laconic : *„După bacalaureat, am studiat fizica la München. Profesorii mei erau de primul rang : Sommerfeld, Wien, Pringsheim și Rosenthal. În semestrul de iarnă 1922—1923, am studiat cu Born, Frank și Hilbert la Göttingen și am obținut în vara lui 1923, cu Sommerfeld, la München, gradul de doctor în filozofie. Am devenit apoi asistentul lui Born, la Göttingen, unde, în 1924, am depus examenul de intrare în învățămînt. În iarna 1924—1925, lucram ca bursier al Fundației Rockefeller, cu Niels Bohr, la Copenhaga. În vara lui 1925 am revenit la Göttingen, iar în 1926 am fost numit lector la catedra de fizică teoretică de la Copenhaga".*

În acest al treilea deceniu al secolului nostru, într-o Germanie zguduită de cutremure interne, în nebunia unei devalorizări monetare fără precedent în istorie, și în ciuda tuturor întîmplărilor, el săpa cu perseverență și inteligență fundamentele operei sale. Nimeni nu l-a influențat în domeniul fizicii. Își dăduse seama devreme de insuficiențele teoriilor existente și nu era intimidat nici măcar de Bohr, căruia îi fusese prezentat încă din 1921 de către Sommerfeld. *„Iar acest tînăr de nouăsprezece ani* — spunea Jungk — *departe de a se mărgini să asculte cu respect pe marele maestru danez, își încrucișa spada cu el în cursul lungilor plimbări spre Rohns și pe Hainberg".*

Primul lui contact cu nevoia de a cunoaşte îşi avea obîrşia în mînuirea „jucăriilor ştiinţifice".

„Cea mai mare parte a copiilor — spune el — fac primii paşi în domeniul tehnicii şi apoi în acel al ştiinţelor, jucîndu-se cu aparate simple. Exemplul colegilor, anumite daruri de Crăciun şi, bineînţeles, învăţămîntul şcolar suscită dorinţa de a pune în funcţiune maşinile şi apoi aceea de a le construi. Lucrul acesta mi s-a întîmplat în primii mei cinci ani de şcoală. Toate acestea n-ar fi rămas, fără îndoială, decît un joc şi nu m-ar fi îndemnat să mă îndrept spre ştiinţele naturii, dacă un eveniment suplimentar nu mi-ar fi «catalizat» vocaţia. La şcoală, ni se predau rudimente de geometrie. E o materie care mi se părea foarte aridă : triunghiurile şi dreptunghiurile stîrnesc imaginaţia tinerilor mult mai puţin decît vederea florilor sau decît poemele... Însă, dintr-o dată, din cuvintele excelentului nostru profesor de matematici, dl. Wolff, mi-a venit ideea că ar fi posibil să supunem aceste figuri unor axiome generale, că în figurile geometrice am putea nu numai să citim şi să recunoaştem anumite rezultate, ci să le şi demonstrăm matematic".

Ideea că matematicile se puteau adapta unor obiecte ale experienţei percepute prin simţuri, „la ceva ce se vede", i se părea, după propriile lui cuvinte, „remarcabilă şi pasionantă".

„Mi s-a întîmplat ceva ce se-ntîmplă destul de rar unui şcolar : vroiam să-mi îmbogăţesc eu însumi bunul intelectual ce mi se dăruia în clasă. De obicei, învăţămîntul se desfăşoară destul de monoton : imaginile lumii şi ale spiritului defilează în mintea noastră, fără să ne pătrundă cu adevărat. Totuşi, după aptitudinile celui care predă, aceste imagini pot fi impregnate de o lumină mai mult sau mai puţin vie, astfel că memoria le reţine cîteodată un anumit interval de timp. În unele cazuri rare, un obiect sau un eveniment intrat în cîmpul percepţiei poate chiar luci în propria lui lumină, la început neclar, în inconştient, apoi mai puternic, apărînd la nivelul conştiinţei, înainte de a invada progresiv gîndirea şi de a se comunica şi altor obiecte, pentru a

ajunge să ocupe în sfîrşit un loc important în viaţa subiectului gînditor."

Lucrul acesta i s-a întîmplat tînărului Werner. El a înţeles deodată că *„matematicile se acordă cu lucrurile experienţei noastre"*.

„După cum am aflat la şcoală, grecii antichităţii şi, în special, Pitagora şi Euclid, posedau deja această cunoaştere, pe care eu credeam că am descoperit-o ; lucrul acesta însă nu mi-a micşorat zelul cel nou, ci, din contră, mi l-a întărit. Stimulat de cursurile d-lui Wolff, îmi încercam singur puterile cu matematici mai înalte decît cele pe care ni le preda el. Găseam că jocul de a le acorda cu percepţiile mele imediate era mai pasionant decît oricare din jocurile la care se dedau colegii mei."

Apoi nu i-a mai fost de ajuns nici geometria clasică :

„Ea devenise un cîmp de acţiune prea strîmt pentru jocul acesta, care îmi procura atîta plăcere. Cîteva lecturi mă învăţaseră deja că, în domeniul mecanicii, matematicile sînt capabile să controleze funcţionarea maşinilor. Le puteam deci aplica comportării aparatelor pe care le construiam eu însumi. În curînd mi-am procurat cîteva lucrări din colecţia Göschen, precum şi alte manuale elementare, pentru a studia matematicile care mi se păreau necesare ca să formulez legile fizice a căror întrebuinţare o întrevedeam, în primul rînd calculul diferenţial şi integral."

Legile gravitaţiei ale lui Newton şi lucrările lui Maxwell i-au apărut atunci *„ca o continuare imediată a ceea ce filozofii şi matematicienii greci încercaseră să realizeze"*.

„Aş putea spune chiar că descoperirile celor din antichitate şi descoperirile moderne mi-au apărut de o identitate perfectă. Ideea că lumea ştiinţelor naturii şi a tehnicii din timpul meu ar putea să se deosebească fundamental de aceea a timpurilor trecute nici nu-mi trecea prin cap. De fapt, fără ca să-mi dau seama în tinereasca mea nevinovăţie, plăcerea pe care mi-o procura descrierea matematică a naturii mă condusese spre una din trăsăturile fundamentale ale gîndirii occidentale, şi anume la legătura dintre modul de a stabili un principiu şi acţiunea practică. Matematicile constituie

un limbaj cu ajutorul căruia o problemă poate fi atît pusă, cît şi rezolvată. De obicei, problema se referă la un caz practic şi material : geometria a fost inventată ca să servească la măsurarea pămînturilor arabile".

Werner Heisenberg precizează că în timpul studiilor sale, a fost atras ani întregi în special de matematici, şi în paguba observaţiei directe, fie că era vorba de contactul cu natura înconjurătoare, fie chiar de construcţia diverselor aparate de care se ocupa.

„De-abia în cursul ultimilor doi ani de liceu — spune el — balanţa s-a aplecat din nou în favoarea fizicii".

Contra uşurinţei

Această „redeşteptare spre fizică" a lui Heisenberg s-a produs în urma unei ciocniri dintre logică şi ideea pe care o avea el — oarecum în felul pitagoricienilor — despre armonia cosmică.

„Ne foloseam, explică el, de un excelent manual de fizică clasică, care trata teoriile născute o dată cu noul secol, desigur într-un mod foarte rudimentar. Şi totuşi, ultimele pagini pomeneau despre atomi. Din nefericire, autorul fusese de acord să i se ilustreze textul. Am păstrat amintirea foarte vie a unei figuri formate dintr-un număr destul de mare de aşa-zişi «atomi», care avea probabil scopul să arate starea unui gaz la scara constituţiei lui corpusculare. Se vedeau deci grupe de molecule formate, fiecare din ele, dintr-un număr mic de «atomi», legaţi foarte curios unii de alţii prin copci şi capse. Textul spunea că, după părerea gînditorilor greci, atomii reprezentau particulele cele mai mici şi deci *indivizibile* ale materiei *(a-tomos* în greceşte înseamnă indivizibil).

Or, din descoperirile lui Becquerel, ale soţilor Curie, precum şi din lucrările lui Rutherford, se ştia deja că atomul este «un sistem de particule». Indiferent care ar fi fost realitatea, era cu totul exclus ca atomii să se unească între ei ca nişte piese de lenjerie feminină...

M-am indignat — spune Heisenberg — văzînd etalate într-un manual de fizică, de altfel destul de complet, asemenea prostii. Bineînțeles că nu știam încă nimic despre teoriile recente, însă îmi spuneam că dacă atomii constituiau cu adevărat obiecte semănînd cu cele din figură, de o formă așa de complicată și prevăzuți cu copci și capse, nu era posibil ca ei să fie, *în același timp,* cele mai mici părți «indivizibile» ale materiei".

Întîmplarea a vrut ca el să întîlnească, pe timpul acela, în mișcarea de tineret în cadrul căreia milita, pe un alt student pasionat de fizică și care *încerca și el să înțeleagă.* Era mai în vîrstă și, de asemenea, mai bine documentat. Citise mai multe studii privind atomismul lui Leucip și Democrit, teoria lui Epicur și neuitatul poem în proză *De rerum natura* al lui Lucrețiu. Ceva mai mult, acest prieten era posesorul unui adevărat manual de fizică modernă : *Structura atomului și liniile spectrale,* de Sommerfeld, în care figurile arătau atomul sub forma lui „planetară", care se impunea atunci. Contrariantele copci și capse dispăruseră cu totul.

„Acest nou prieten — spune Heisenberg — își exprima totuși părerea că fizica atomică era eronată, în totalitatea ei. Raționamentele noastre erau pe atunci mai categorice și mai rapide ca astăzi... În ceea ce mă privea, credeam doar că figurile cu atomi clar desenați sînt în mod necesar false, și-l acuzam pur și simplu pe desenator..."

O întîmplare neprevăzută avea să-i întărească dorința de a-și orienta activitățile sale de adult spre cunoașterea fenomenelor naturii. Grupul de militari auxiliari, contrarevoluționari, din care făcea parte, nu era supus unei discipline prea severe. Muncile brute erau îndeplinite de către soldați, ceea ce le lăsa tinerilor studenți anumite intervale de răgaz.

„Ceva mai mult — ne destăinuie Heisenberg, nu fără satisfacție retrospectivă — eram obligați să facem permanent serviciu de noapte, astfel că toate zilele noastre se scurgeau în voioșie, liberi de orice control din partea părinților și al profesorilor".

Intîlnire cu Platon

Cu toate că tînărul Werner iubea libertatea, nu-i plăcea decît în mică măsură să-şi irosească vremea, iar dacă binecuvînta timpul liber, o făcea mai cu seamă fiindcă îi permitea să se cultive fără nici o constrîngere, după capriciile fanteziei lui.

„Vara lui 1919 — spune el — a fost foarte caldă. În primele ore ale dimineţii, nu eram obligaţi practic să facem nici un fel de serviciu. Mi se întîmpla atunci să mă refugiez adesea, încă de la răsăritul soarelui, pe acoperişul seminarului în care eram cantonaţi, ca să mă lungesc pe streaşină, în tovărăşia unei cărţi, şi să mă încălzesc la soare. Mă aşezam de asemenea pe marginea acoperişului, ca să privesc cum se deşteaptă viaţa în Ludwigstrasse. O dată mi-a venit ideea să iau cu mine pe acoperiş o carte de Platon, iar dorinţa de a citi şi altceva decît ceea ce ni se impunea în colegiu m-a făcut să dau peste dialogul *Timaios.* Traducerea corespundea modestelor mele cunoştinţe de limbă greacă. Această lectură mi-a limpezit ideile asupra originii teoriilor atomice. Socoteam că am înţeles cauzele profunde care i-au făcut pe gînditorii antichităţii să creadă în existenţa unor *«pietre de construcţie, infinitezimale şi indivizibile, ale materiei».* Este adevărat că teza platoniciană din dialogul *Timaios,* după care atomii sînt «corpuri adevărate», nu mi se părea absolut evidentă, şi nici argumentele autorului de o claritate perfectă. Totuşi, Platon nu vorbea de copci şi de capse, astfel că eram satisfăcut.

Din această epocă — precizează el — datează convingerea mea că *e imposibil să te ocupi de fizică atomică, fără să cunoşti filozofia greacă.*

Socoteam că desenatorul faimoasei gravuri cu atomi prevăzuţi cu copci şi capse, din manualul meu, ar fi fost bine inspirat dacă l-ar fi citit mai înainte pe Platon".

Din acel timp tînărul Werner căpătă convingerea că materialismul celor antici n-avea nimic comun cu materialismul mecanicist, aşa de înfloritor în secolul al XIX-lea, cînd omul de ştiinţă credea că a rezolvat *definitiv* enigmele universului. În acest sens — şi mai adesea de-

cît o crede — Werner Heisenberg este în perfectă comuniune de idei cu campionii *actuali* ai materialismului. Vom găsi în cuprinsul acestei cărți mai multe exemple despre această apropiere de idei.

Să vezi tu însuți

Spontan, elevul de liceu Heisenberg trecuse de partea „ordinii". Mereu patriot — fiindcă Heisenberg este și va rămîne un patriot — studentul Werner a fost mai circumspect. Va spune mai tîrziu :

„Înfrîngerea făcuse să nască în noi, tinerii, o neîncredere profundă în idealurile pentru care fusese dus și pierdut războiul. Cuvintele mari care proclamau aceste idealuri ni se păreau acuma cu totul goale. Gîndeam că aveam dreptul să controlăm noi înșine ceea ce mergea, sau nu mergea în această țară și în lume. Pentru noi nu se mai punea problema de a cere în acest scop părerea părinților sau profesorilor noștri. Eram cîțiva gata să transpunem această poziție în domeniul științelor".

Avea acum ca profesor pe autorul acelui prim „manual adevărat de fizică atomică" pe care prietenul lui din mișcarea de tineret îl ajutase să-l cunoască, pe Arnold Sommerfeld, una din somitățile noii discipline. Nimeni nu era mai bine calificat ca el. Competența lui era dublată de remarcabilele sale calități pedagogice.

Prima întîlnire a lui Werner Heisenberg cu acela pe care urma să-l numească mai tîrziu *„bătrînul meu magistru Sommerfeld"* (care nu avea pe atunci decît 52 de ani) este povestită astfel, pe scurt, de autorul german Helmut Carl :

„În primăvara lui 1920, un candidat la bacalaureat al Liceului «Maximilian», a venit să-l vadă pe consilierul secret Sommerfeld la institut, declarîndu-i că voia să studieze fizica teoretică. Sommerfeld îi răspunse că urma să se vadă mai tîrziu ce va fi de făcut, că trebuia să studieze mai întîi fizica generală și că specializarea va veni după aceea. Candidatul la bacalaureat îi răspunse că

n-avea nici o poftă să facă experienţe şi că nu-l interesau de fapt decît fizica teoretică, teoria ondulatorie şi în special matematicile. Cu toate că Sommerfeld era şi el un matematician pur şi nu făcuse niciodată fizică experimentală, găsi pretenţiile tînărului său interlocutor destul de surprinzătoare. Totuşi, cu titlu de încercare, îi permise să participe la seminarul său, începînd cu primul semestru".

La Sommerfeld, lucrările se îndreptau în esenţă asupra structurii atomului şi asupra liniilor spectrale, cu scopul de a se obţine cîteva precizări matematice în legătură cu modelul de atom propus de Bohr, care, spune Carl, *„deşi permitea multe enunţuri juste în legătură cu fenomenele învelişului electronic, era totuşi fals".*

Făcîndu-şi într-un fel „autocritica", Bohr însuşi spune : *„Era clar, că după principiile fizicii clasice, nici o configuraţie de particule electrizate nu putea să aibă stabilitatea necesară ca să explice proprietăţile fizice şi chimice ale atomilor. În special, conform principiilor electrodinamicii clasice, orice mişcare a electronilor în jurul atomului trebuia să producă o radiaţie continuă de energie, ceea ce implica o contracţie rapidă a sistemului, pînă cînd electronii s-ar fi unit cu nucleul, formînd o particulă neutră cu o dimensiune infinit de mică în comparaţie cu dimensiunea care ar fi trebuit atribuită atomului"* [1].

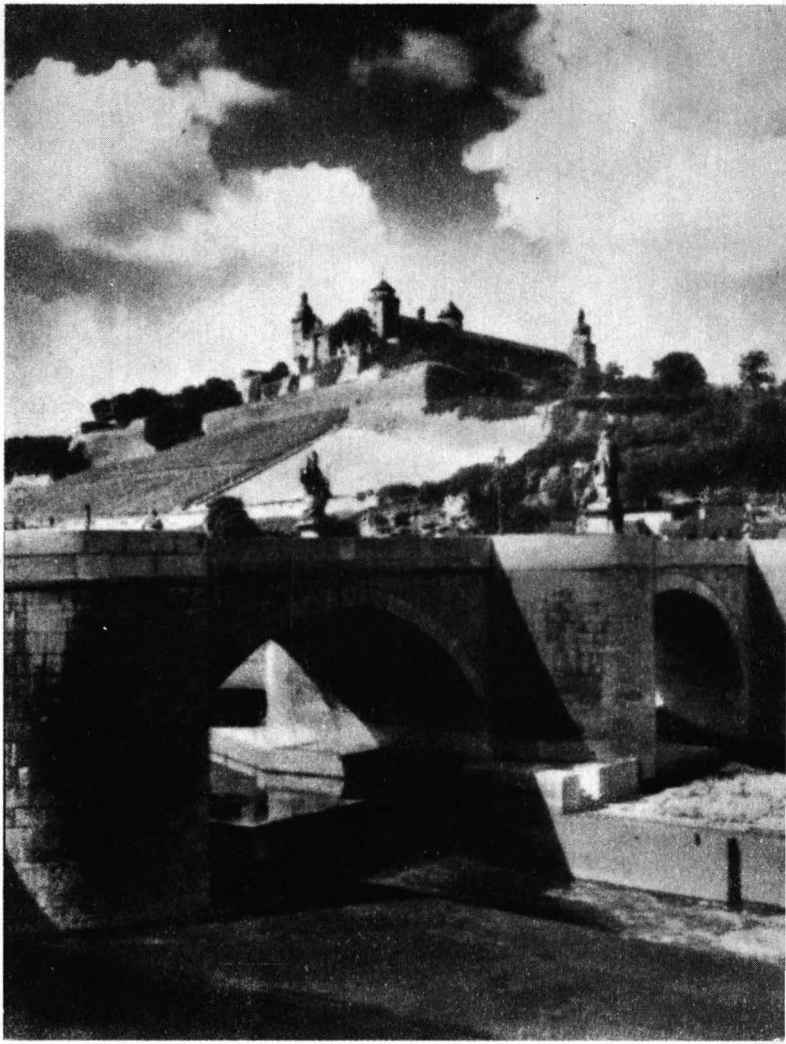
Din cauză că lucrurile nu se întîmplau aşa, şi pentru că în realitate structura atomului se menţinea constantă, însemna că exista „ceva" care putea să explice fenomenul, şi tocmai acest „ceva" era căutat la Sommerfeld.

„La fiecare curs — spune Heisenberg — simţeam că-mi creşte interesul. Expunerile pline de limpezime ale lui Sommerfeld mă stimulau în aceeaşi măsură în care mă încîntau".

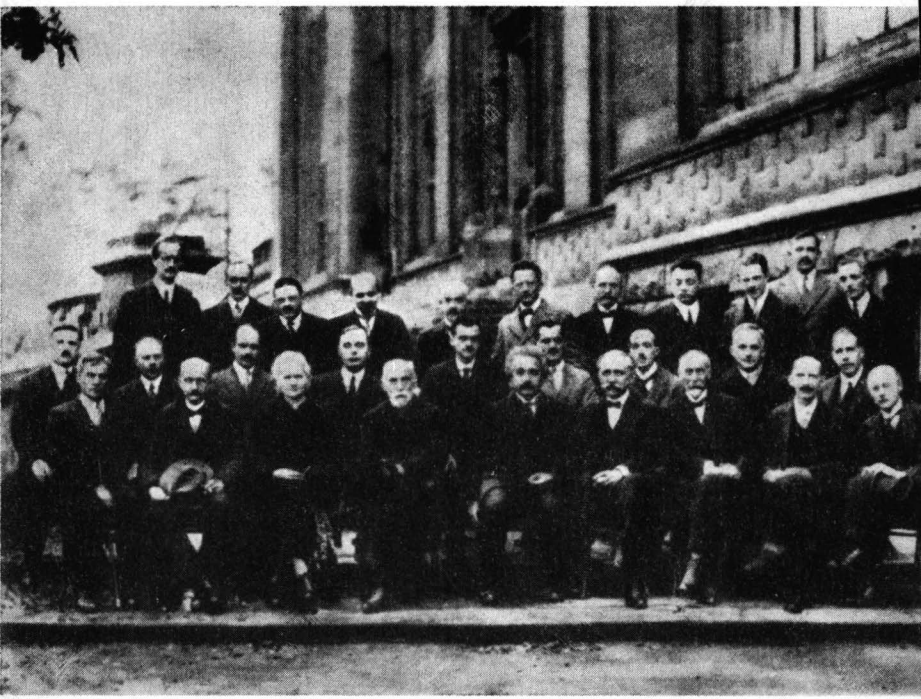
Cu acest ritm de muncă nu-i trebuiră decît şase semestre pentru ca să-şi ia doctoratul la vîrsta de 23 de ani.

---

[1] *Physique atomique et connaissance humaine*, p. 139.



1. Würzburg, vedere asupra fortăreței.



2. Consiliul de fizică din 1927 (Bruxelles).

În fotografie, **de la stînga la dreapta şi de jos în sus:**
I. Langmuir, M. Planck, M. Curie, H. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, Ch. E. Guye, C. T. R. Wilson, Ow. Richardson.
P. Debye, M. Knudsen, W. L. Bragg, H. A. Kramers, P. A. M. Dirac, A. H. Compton, L. de Broglie, M. Born, N. Bohr.
A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, Ed. Herzen, Th. de Donder, E. Schrödinger, E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. H. Fowler, L. Brillouin.

Şi, cu toate acestea, acela care discutase cu Bohr de la egal la egal, cu ocazia primei lor întîlniri amintite mai sus, nu era decît un novice. Însă Bohr, a cărui modestie era tot atît de legendară ca şi bunăvoinţa lui, nu se arăta de loc contrariat, ci dimpotrivă. Într-adevăr, în cursul lungilor şi fructuoaselor întrevederi pe care le-au avut, Bohr îl ajuta pe tînăr să-şi argumenteze criticile.

Ne face plăcere să subliniem această atitudine mult prea rară a unui magistru faţă de elevul lui. Nu numai că Bohr, savant internaţional respectat, admitea criticile studentului Heisenberg, dar le şi provoca.

Ceva mai mult, el a făcut tot ce i-a stat în putinţă ca să înlesnească înfocatului său contrazicător o carieră care promitea să fie strălucitoare. Datorită intervenţiilor lui Bohr, Heisenberg a obţinut o bursă Rockefeller pentru Copenhaga, în 1925, şi tot Bohr a fost acela care în anul următor a făcut ca acelaşi Heisenberg să fie chemat în capitala daneză, de data aceasta în calitate de „lector de fizică teoretică".

O vacanţă pe Heligoland

Pare ciudat ca Platon, un guturai de fîn şi insula Heligoland să fie asociate cu numele lui Heisenberg, atunci cînd este vorba de descoperirea primelor principii care trebuiau să conducă la elaborarea teoriilor cuantice.

Autorii nu sînt cu totul de acord dacă guturaiul a fost contractat pe insula Heligoland, în decursul vacanţei de Rusalii din anul 1925, sau dacă gravitatea excepţională a guturaiului de fîn a motivat cele cîteva zile de convalescenţă pe aceeaşi insulă. „*Acolo* — scrie Jordan — *Werner Heisenberg escalada stîncile roşii şi citea* Divanul *lui Goethe, meditînd asupra ideilor sale într-un fel de beţie intelectuală. Cred că în timpul acestei preafericite vacanţe de Rusalii, aproape că n-a dormit*".

Această insomnie nu era provocată numai de Platon şi de Goethe, ci mai degrabă de anumite teorii matematice foarte surprinzătoare, din care se putea deduce,

în linii mari, că „varză verde" și „verde varză" pot să nu aibă întotdeauna același înțeles...

Înainte de plecarea lui de la Göttingen spre Heligoland, Heisenberg înmînase unuia dintre profesorii lui, Max Born, o lucrare bazată pe aceste teorii. Se înțelege deci că era nerăbdător să cunoască părerea acestuia din urmă și că din cauza asta nu dormea. Dacă la aceasta mai adăugăm și guturaiul...

Born se lăsase însă imediat convins și, fără să mai aștepte altceva, trimisese manuscrisul spre publicare la „Revista de fizică". Apoi se pusese pe lucru, tot în aceeași problemă, împreună cu Pascual Jordan, un altul dintre tinerii săi asistenți.

„Regula înmulțirii a lui Heisenberg nu-mi dădea pace" — spunea Born. Își aduse însă aminte la timp de o teorie algebrică care se dovedea a fi un instrument de primul ordin pentru interpretarea acestei reguli. *„Eram emoționat* — ne asigură el — *ca un navigator care, după ce a rătăcit o vreme îndelungată pe mări, crezîndu-se pierdut, zărește în sfîrșit pămîntul. Singurul lucru pe care-l regretam era că Heisenberg nu era și el de față".*

Din cauză că șederea pe insula Heligoland se prelungea, o corespondență se stabili între Born și Jordan, pe de o parte, și Heisenberg pe de altă parte, corespondență care avu drept rezultat redactarea unei lucrări semnate cu trei nume. Chiar dacă această lucrare n-a avut în sinul marelui public răsunetul teoriei relativității a lui Einstein, ea i-a zgudit pe specialiști aproape tot atîta, dacă nu și mai mult.

Gloria internațională

Urmînd alte căi decît echipa germană, Paul Dirac încerca și el, în Anglia, să rezolve problema fizicii cuantice. El se alinie în curînd de partea germanilor, făcînd să evolueze într-un mod semnificativ mecanica cuantică. Ideile lui au fost adoptate de Louis de Broglie, iar ceva mai tîrziu și de fizicianul sovietic Landau.

În toamna anului 1927, Heisenberg a fost numit profesor titular de fizică teoretică la Leipzig. N-avea decît 26 de ani şi părea că este frate cu studenţii, din ce în ce mai numeroşi, care îi urmau cu pasiune cursurile. Era chemat în toate părţile. În 1929 a întreprins un vast şi fructuos turneu de conferinţe în S.U.A. În acelaşi an, i s-a acordat la New York „Barnard Medal", după care a obţinut în Italia medalia „Matteuci", iar în Germania medalia „Plank".

Înainte de a se reîntoarce, în 1931, în S.U.A., a fost invitat în Japonia, apoi în India. Cea mai mare parte a marilor academii i-au deschis porţile, atît în Germania cît şi în străinătate. În sfîrşit, i-a fost acordată pe bună dreptate recompensa internaţională supremă: Premiul Nobel pentru fizică pe anul 1932. În anul următor a plecat la Stockholm, ca să-l primească din mîinile regelui Suediei. Era în 1933, cînd Hindenburg, sub presiunea evenimentelor, îl chemase tocmai la putere pe Hitler.

2

Heisenberg contra nazismului

În admirabila sa operă *Siluirea mulțimilor prin propaganda politică,* profesorul Serghei Ceahotin a analizat perfect mecanismul operației preluării puterii de către Hitler : spaima senilă a lui Hindenburg, isteria colectivă a unui popor umilit de prăbușirea armatelor sale, pretinse invincibile, și batjocorit de guverne incapabile.

Werner Heisenberg nu putea fi, din principiu, ostil noii tendințe. Fusese crescut într-un climat de patriotism și de naționalism. Ne aducem aminte că se bătuse la München contra comuniștilor. Or, cam în același timp, Adolf Hitler se manifesta pentru prima dată politic, intrînd în conflict cu comitetele de soldați.

Fenomenul Hitler nu are nimic surprinzător dacă ne reamintim de sfîrșitul primului război mondial și de începuturile perioadei dintre cele două războaie în Germania. Înaltul comandament german nu și-a recunoscut niciodată înfrîngerea, pe care a imputat-o „forțelor de stînga". Mizeria, afacerile murdare, jignirile suferite din partea trupelor de ocupație (mi-aduc într-una aminte că l-am auzit, cam prin 1925, pe un ofițer francez lăudîndu-se că plesnise cu cravașa „mutra" unui industriaș german, care nu voia să-i satisfacă pretențiile), multiplele stîngăcii ale exaliaților transformaseră încetul cu încetul veleitățile individualiste ale tineretului într-o revoltă mocnită contra incuriei. De altminteri, întregul popor german iubește în general ordinea (ceea ce îl distinge sau îl distingea altădată de poporul francez), după cum tot în general (și lucrul acesta îi este reproșat de poporul

francez), este stupid de sensibil la parăzile militare. De aceea, fiind atît din înclinație, cît și din necesitate psihologică contra tratatelor, el nu putea să fie, în întregimea lui, decît favorabil național-socialismului, de la care aștepta dreptatea în exterior și belșugul în interior. Se știe că după criza din 1929 (care a urmat unei perioade de cinci ani de prosperitate industrială excepțională), Hitler a avut 107 reprezentanți în Reichstag, pentru ca, în 1932, cu ajutorul burghezilor nemulțumiți și al șomerilor, să-și ridice de peste două ori această cifră. Hitler era mult mai abil decît se crede de această parte a Rinului [1], astfel că, din cauză că prefera să anexeze fără război teritoriile la care rîvnea, se pricepu să arate conservatorilor din Germania că era în primul rînd *naționalist*, și în al doilea rînd socialist. Programul său social era, de altminteri, îndeajuns de concret ca să atragă de partea lui masele care nu-i cunoșteau planurile secrete. Voi continua să susțin mereu că ansamblul aceluia ce este denumit în mod convențional „poporul", nu știa de cîmpurile de concentrare, *așa cum erau ele, în înspăimîntătoarea lor realitate.* În Franța ocupată, în afară de cîțiva inițiați care nu bănuiau totuși amploarea fenomenului, fiindcă numai cei ce l-au trăit l-au cunoscut cu adevărat, nimeni nu era informat despre aceste grozăvii. Ura față de ocupant era alimentată mai mult de lipsurile alimentare decît de privațiunile de libertate, și chiar execuțiile prin împușcare a ostaticilor îi lăsau indiferenți pe destul de mulți dintre compatrioții noștri.

Chiar dacă Heisenberg nu a luptat *de la început* împotriva lui Hitler (devenit pentru majoritatea germanilor simbolul reînnoirii unei țări vechi lovite de o presupusă „trădare", care aducea asigurarea unei „redresări" pe plan economic și promitea revizuirea „nedreptului tratat de la Trianon" pe plan extern), evenimentele l-au obligat să ia rapid o poziție.

---

[1] Adică în Franța. — *N.R.*

Patriot, dar nu şovinist

Deşi patriot, lui Heisenberg îi repugnă şovinismul. L-am văzut colaborînd, încă foarte tînăr, cu Dirac, apoi, şi mai strîns, cu Bohr. În timp ce îşi punea la punct aparatul matematic care i-a consacrat teza, Heisenberg a declarat că faptul că contribuţiile la calculul matricial se datorau unui englez, unui danez, sau unui german (lui însuşi sau lui Jordan) avea puţină importanţă. „Singurul lucru care importă este doar descoperirea adevărului. Nu există o ştiinţă «germană», «engleză» sau «daneză», ci numai ipoteze care se dovedesc adevărate sau false şi care sînt acceptate nu din cauza naţionalităţii autorului lor, ci pentru că au, sau nu au, o valoare ştiinţifică".

Acesta este, în linii mari cel puţin, sensul uneia din declaraţiile sale reproduse de Joachim G. Leithaüser, excelentul biograf pe care însuşi Heisenberg ni l-a recomandat drept sursă de inspiraţie.

Din clipa în care i s-a atribuit Premiul Nobel, cea mai înaltă recompensă internaţională, pe care el spunea cu îndrăzneală că o apreciază la justa ei valoare, Heisenberg şi-a atras dorinţa de răzbunare a conducătorilor nazişti. Pentru un bun german, tot ce era excelent şi de valoare nu putea veni decît din Germania, şi el trebuia să-şi bage în cap acest lucru. Johannes Stark, preşedintul lui Physikalischtechnische Reichsanstalt, a intervenit ca Heisenberg să nu ocupe catedra de fizică rămasă liberă la Universitatea din München prin plecarea lui Sommerfeld, catedră care îi revenea, ca să spunem aşa, „de drept", şi care îi fusese atribuită, de altminteri, de senatul universităţii pe baza unui aviz foarte favorabil al decanului.

Stark, fizician cu o îndelungată experienţă, laureat al Premiului Nobel pentru fizică din 1919, forma, împreună cu Philip Lenard [1], de asemenea laureat al Pre-

[1] Asupra lui Lenard se poate consulta lucrarea lui J. Nicoll, *Röntgen*, colecţia „Savants du monde entier", Seghers, 1965.

miului Nobel pentru fizică din 1905, nucleul oponenților ireductibili ai teoriilor lui Einstein. Atunci cînd naziștii au început să-i atace pe evrei, cei doi s-au socotit imediat aliații celor dintîi și nu au ezitat să transpună în mod deliberat opoziția științifică pe plan politic. Au îndrăznit să scrie — acești doi savanți — că relativitatea *„nu era altceva decît un bluf evreesc"*. Nu fără o oarecare candoare, ei considerau că orice alt argument era de prisos. Continuînd pe această cale, au decretat existența unei *„fizici evreiești"* adică a acelei fizici care se baza pe lucrările lui Einstein și Bohr, iar toți fizicienii ale căror publicații făceau vreo mențiune referitoare fie la relativitate, fie la cuante, (adică toți fizicienii de o oarecare valoare, în afară de ei înșiși), deveniră *„evrei prin spirit"*. Printre aceștia era, firește, pe primul loc, Heisenberg, care nu-și ascundea admirația pentru relativitatea „evreului Einstein" (cu toate controversele care îl opuseseră lui Einstein la Congresul Solvay din 1927) și care obținuse Premiul Nobel pentru realizări de care nu era străin „evreul Bohr"...

Jungk spune despre Stark : *„Personaj palavragiu, acest fondator al unei «fizici germane» nebuloase nu-i ierta lui Sommerfeld* (pe care-l ataca în mod indirect prin Heisenberg, precizăm noi) *de a-i fi criticat obiectiv lucrările și de a-l fi numit în glumă «Giovanni Fortissimo». Această poreclă, inventată mai întîi de Einstein, urma să rămînă legată de persoana acestui agitator zgomotos"*. De fapt, „personajul palavragiu" se răzbuna, cu întîrziere, pentru că fusese dat afară din Universitate pentru motivul că nu-și respectase cuvîntul dat : folosise suma de bani primită ca Premiu Nobel ca să-și cumpere o fabrică, lucru strict interzis de statutele acestui premiu.

Silit să facă joc dublu

Departe de a căuta o apropiere diplomatică de stăpînii zilei, Heisenberg își precizează cu energie poziția la prima ocazie care i-a fost oferită de a vorbi în fața unui

auditoriu suficient de reprezentativ. În ziua de 17 septembrie 1934, la Hanovra, el a declarat plin de curaj — fiindcă persecuțiile începuseră să ia o amploare neliniștitoare — că înțelegea să-și mențină pozițiile teoretice *„cîteodată deformate de situația în care se află astăzi gîndirea germană"*. Ceva mai mult, el se solidarizează ferm cu Albert Einstein[1] în ceea ce privește relativitatea restrînsă și relativitatea generalizată, susținînd că criticile lansate contra acestor două teorii nu aveau nici o consistență și că argumentele folosite în Germania erau cu totul false.

Desigur că, la fel cu majoritatea intelectualilor, Heisenberg nu-și dădea pe atunci seama exact de riscurile la care se expunea. Nu știa că o bandă de parveniți își dădeau toată osteneala ca să-l denunțe drept *„evreul de rasă albă al științei."* Un anume doctor Roskothen, profesor de liceu, îi scria ministrului Rosenberg : *„Un asemenea om (Heisenberg) este el demn să aibă o catedră la o universitate germană ? După părerea mea, ar fi bine să-i dăm ocazia să scrie un panegiric al evreilor Michelson și Einstein într-un loc unde ar putea să-și regăsească pe cei deopotrivă cu el : într-un cîmp de concentrare. Motivul acestei internări ar fi limpede : trădare contra rasei"*.

Fapt curios, răspunsul lui Rosenberg a fost regăsit, prins cu un bold, la copia acestei acuzații pline de ură. În rezumat, autorul lucrării *Mitul secolului XX* (publicată în 1930, care îl consacră drept teoretician al nazismului) „regreta" că nu putea acționa cu severitatea de dorit contra lui Heisenberg, fiindcă, „din nenorocire", străinătatea avea ochii îndreptați asupra lui...

În schimb, în jurnalul S.S.-ului, „Schwarze Korps", o pagină întreagă era consacrată injuriilor contra lui Heisenberg și încercării de a distruge fundamentele teoriei sale, fără să se folosească de altminteri măcar un singur element de apreciere prezentînd cea mai mică valoare sau cea mai redusă seriozitate. Era numit, cu o

---

[1] Se va putea citi, în aceeași colecție, lucrarea noastră *Albert Einstein și relativitatea.*

emfază care provoacă acuma rîsul, „un *Ossietzky al fizicii*".

Karl von Ossietzky, care urma să primească Premiul Nobel pentru pace, în 1935, cu trei ani înainte de a muri, era cu adevărat „spaima" naziștilor, fiindcă propovăduia dezarmarea totală și chiar unilaterală a Germaniei și denunța cu curaj pregătirea formațiilor militare secrete. Fiindcă îl atacase încă din primii ani de la luarea puterii pe Hitler și bandele sale armate, Ossietzky cunoștea, de un an deja, cîmpul de concentrare.

Este posibil că Werner Heisenberg ar fi urmat să sufere aceeași soartă, fără intervenția mamei sale pe lîngă faimosul Himmler, de sinistră amintire. Fizicianul americano-olandez Goudschmidt a găsit după război în dosarul Heisenberg, de la arhivele secrete, o scrisoare a Reichsführer-ului, în care recomanda ca *„profesorul Heisenberg să nu fie ucis"*.

Pentru a răspunde rugăminților îngrijoratei sale mame, autorul *Principiului incertitudinii* caută să nu se mai vorbească de el. Era însă posibil să facă așa ceva, atunci cînd asista la nedreptățile cele mai flagrante ? El își înfrînă totuși pornirile, nu atîta din cauză că-i era frică pentru persoana lui, ci fiindcă revolta individuală nu era de loc „rentabilă" : însemna privarea imediată de libertate, dacă nu și altceva mai rău, iar lucrul acesta însemna că sacrificiul n-ar fi fost cunoscut decît de un grup restrîns de indivizi, convinși dinainte, astfel că n-ar fi avut nici un efect asupra maselor.

Pe de altă parte, Heisenberg nu dorea nici să emigreze. Nu vroia să-și părăsească patria germană, așa cum Joliot-Curie n-a vrut să-și părăsească patria franceză în timpul ocupației. Cum obținuse într-un mod cu totul excepțional autorizația de a pleca în America pentru o a treia serie de conferințe, profesorul Pegram, decanul lui Physics Department al Universității din Columbia, îl îndemnă cu toată tăria să imite pe o mulțime dintre

confrații săi europeni, ca, de exemplu, pe Fermi [1], și să rămînă în America pînă la înfrîngerea dictaturii. *„Heisenberg crezu* — scrie Jungk — *că este de datoria lui să refuze, fiindcă nu putea părăsi, fără nici un sprijin, pe «bravii fizicieni tineri» (acestea au fost propriile-i cuvinte) care îi erau încredințați. Convins că Hitler trebuia să piardă războiul, care nu putea întîrzia să izbucnească, el voia totuși să rămînă în Germania ca să asiste la catastrofă, și ea previzibilă, și să ajute la salvarea a ceea ce mai putea fi salvat".*

Războiul și bomba atomică

Acela care demonstrase că atomul nu este indivizibil și care reușise prima transmutație a materiei (azotul în oxigen), adică lordul Rutherford, a murit în 1937, convins că omul nu va reuși niciodată să utilizeze formidabila energie inclusă în nucleul atomului. Germanul Walter Nerst era cu mult mai puțin categoric, însă nu credea că generațiile noastre vor fi capabile să elibereze energia denumită încă de pe atunci „atomică". El afirma : *„Trăim pe o insulă de fulmicoton, însă slavă Domnului că n-am găsit încă chibritul cu care să dăm foc explozivului"*.

Din contră, alți fizicieni, și în special experimentatorii, erau convinși că eliberarea energiei nucleare era apropiată și socoteau că chibritul a fost găsit.

Era o situație destul de înspăimîntătoare pentru o lume aflată virtual în război. Chiar dacă nu se știa încă cum trebuiau fabricate explozivele „atomice", se cunoștea însă că aceste explozive pot avea o putere de distrugere „colosală". De fapt, nu se știa încă totul. Îngrozitoarea primejdie pe care o reprezenta radioactivitatea pentru țesuturile vii nu era încă cunoscută. Cel puțin trei echipe se apropiau de țel în 1938 : echipa italiană

[1] Asupra lui Fermi se poate vedea lucrarea lui Pierre de Latil, *Fermi*, colecția „Savants du monde entier", Seghers, 1964 (traducerea românească a acestei lucrări a apărut în Editura Științifică, București, 1965. — *N.R.*).

cu Enrico Fermi, echipa germană cu Otto Hahn şi Lise Meitner şi echipa franceză a lui Joliot-Curie, la care urmau să se alăture în curînd doi oameni fugiţi de opresiunea nazistă, şi anume germanul Hans von Halban şi polonezul Lew Kowarski.

Enrico Fermi, care din punct de vedere tehnic era, fără îndoială, mai avansat, fiindcă descoperise acţiunea neutronilor lenţi în întreţinerea unei reacţii în lanţ — cu toate că de fapt Frédéric Joliot-Curie şi tovarăşii săi au fost aceia care au luat primul brevet pentru realizarea a ceea ce urma să se cheme mai tîrziu o „pilă atomică" — profitase de recepţia care a avut loc la Stockholm pentru sărbătorirea Premiului Nobel pe anul 1938 ce i se acordase, pentru a întoarce spatele lui Mussolini şi hoardelor sale fasciste. Fermi urma să întîlnească în S.U.A. alţi emigranţi europeni de valoare, şi anume pe maghiarii Leo Szilard şi Edward Teller. În preajma războiului din 1939—1945 existau deci trei echipe capabile să realizeze un dispozitiv atomic : grupul american, grupul german şi grupul francez.

Acest din urmă grup părea să fie cel mai avansat. Teoretic, reacţia în lanţ era realizată (aceasta înseamnă că s-ar fi obţinut un reactor, dar nu o bombă), însă oxidul de uraniu de care dispunea Joliot era un material care se găsea cu foarte mare greutate. Laboratoarele Germaniei şi cele ale S.U.A. nu erau nici ele mai bine aprovizionate, însă germanii urmau să aibă posibilitatea de a dispune de minele din Boemia, iar aliaţii de bogatele rezerve ale Congoului (pe atunci belgian) şi ale Canadei. Mai lipseau totuşi încă multe pentru ca aceste grupuri să fie omogene. De fapt, nici nu se putea vorbi serios de „grupul american" pe vremea aceea, fiindcă fizicienii din S.U.A. erau răspîndiţi pe la diferite universităţi şi chiar dacă fiecare din ei se gîndea poate la bombă, nici unul nu avea mijloacele — şi adesea nici dorinţa — de a lucra la ea. Din contră, în Germania, unde totul era etatizat, bomba ar fi trebuit să poată fi realizată de ansamblul fizicienilor, care erau, ca să zicem aşa, „funcţionarizaţi".

Asta era cel puţin părerea emigranţilor, care, deoarece cunoscuseră teroarea nazistă şi fugiseră de ea, inter-

pretau cu îngrijorare evenimentele din Europa : *„Pentru cei cîțiva fizicieni care se gîndeau la posibilitatea unei bombe cu uraniu* — spune Jungk — *părea evident că Hitler trebuia să aibă în mînă un atu secret : fisiunea atomului. Ca singur posesor al bombei atomice, Hitler, cu toate slăbiciunile sale economice, ar fi fost de neînvins și capabil să aducă în stare de sclavie întreaga lume".*

Se știe că acesta a fost motivul pentru care Einstein, la stăruințele lui Szilard, a scris lui Roosevelt faimoasa scrisoare, care urma să reprezinte punctul de plecare pentru „Proiectul Manhattan", al cărui rezultat, datorit celor mai gigantice eforturi financiare și industriale pe care le-au cunoscut oamenii într-un timp așa de scurt, a fost atacul contra orașelor Hiroshima și Nagasaki, ordonat de Truman și de Pentagon, deși aceste tragedii ar fi putut fi evitate. Să ne reamintim oroarea lui Einstein și exclamația sa : *„Dacă aș fi știut că naziștii nu aveau bomba, n-aș fi mișcat nici degetul cel mic".*

Dacă Hitler nu a avut bomba, nu a fost din cauză că n-ar fi avut fizicieni *capabili* să i-o construiască. Un grup german, coordonat ca și grupul american, ar fi fost *în stare* să construiască o bombă, chiar după plecarea elementelor excepționale alungate de dorința de răzbunare și de opresiunea nazistă. Reichul a înfăptuit și alte *„miracole"* decît acela de a extrage și de a rafina uraniul într-un timp record, iar ceea ce au făcut americanii ar fi putut s-o facă și germanii. Acest grup nu s-a cristalizat însă fiindcă elementele lui cele mai reprezentative, și, după toate aparențele, în primul rînd Heisenberg, nu au vrut.

Atunci cînd s-a creat în Germania o comisie de studiu, nici von Laue și nici Otto Hahn, n-au fost chemați. Primul, bazîndu-se pe vîrsta și pe trecutul său, critica deschis nazismul și n-ar fi acceptat să participe. Cel de-al doilea, lipsit de asistenta sa, Lise Meitner — care nu-și datora salvarea decît unei fugi rapide și care descoperise fisiunea — a fost înlăturat sub pretext că era chimist. El era socotit puțin sigur, și aceasta pe bună dreptate fiindcă, auzind de reuniunea comitetului de pregătire, se afirmă că exclamase : *„Fizicieni, n-o să vă*

apucați doar să fabricați o bombă cu uraniu! Dacă Hitler ajunge să posede o armă ca aceasta, eu mă sinucid".

Să nu trădezi

În cursul acestei prime reuniuni, se pare că cuvîntul de ordine a fost acela de a se calma exaltații. Heisenberg și majoritatea pe care o conducea făcuseră să se accepte ca autoritățile să fie informate doar că se va putea, *probabil,* ca într-o zi să se folosească fisiunea *„în domeniul propulsiei".* El însuși rămînea totuși convins că explozia era posibilă. Întîlnindu-l (cu ocazia unei conferințe în Copenhaga ocupată de naziști) pe Bohr, care afirma că va trece multă vreme pînă cînd se va putea elibera energia atomică, Heisenberg s-a străduit să-i demonstreze contrariul, asigurîndu-l că bomba *„era realizabilă într-un viitor apropiat".* Aceste vorbe nu însemnau nimic altceva decît ceea ce comunicau, anume că Heisenberg credea posibilă realizarea unei bombe, și nu că el lucra la o asemenea bombă, sau că ar fi dorit-o chiar. Însă Bohr era sensibil față de tot ce era german. Am cunoscut cu toții acest sentiment, așa că prietenul de ieri care venea în uniformă într-o țară ocupată nu era, desigur, binevenit. Ceva mai mult, Bohr își aduse dintr-o dată aminte de tînărul aderent la mișcarea de tineret și de faptul că nazismul nu devenise posibil decît datorită exaltării celor tineri și pasivității celor maturi. Fostul lui asistent îi era cel puțin suspect și de aceea îl primi cu reticență și răceală.

Heisenberg, pe de altă parte, continua să rămînă mult prea legat de patrie, pentru a nu se gîndi că ar fi însemnat s-o trădeze încredințînd un secret, *chiar negativ,* privind apărarea Germaniei, unui străin ale cărui relații cu Anglia, adică *cu inamicul,* le cunoștea, chiar dacă acest străin i-ar fi rămas încă foarte drag. *El nu putea* să-i spună lui Bohr : *„Nu lucrăm în Germania la realizarea unei bombe atomice. Comunicați acest lucru confraților noștri, pentru ca să nu dăruiască nici ei*

aliaților bomba". Voia ca Bohr să înțeleagă asta. *Voia* acest lucru și asta însemna, dacă ținem seama de formația lui, aproape un fel de trădare. N-ar fi putut merge mai departe de această concesie făcută reflexelor psihologice căpătate în tinerețe.

Era, desigur, dispus să lupte contra lui Hitler, contra nazismului, dar în nici un caz împotriva Germaniei.

Weizsäcker a spus că maestrul său, Heisenberg, *„era dintre aceia care deși resimțeau pînă în adîncul sufletului lor terorile provocate de nazism și cinismul afișat la intrarea în război, nu puteau totuși dori nici victoria, nici prăbușirea țării lor, cu teribilele lor consecințe"*. Mai tîrziu, Heisenberg însuși a declarat că știuse întotdeauna *„că războiul era pentru Germania ca ultima fază a unei partide de șah în care aceasta ar fi avut o tură mai puțin decît adversarul ei"*. Această tură era reprezentată de potențialul industrial al aliaților și de ansamblul forțelor economice de care ei puteau să dispună. Nu era bomba atomică. Heisenberg spera în mod sincer că nimeni nu va poseda acest atu. Nu-l voia pentru naziști, dar spera că nici aliații nu se vor putea servi de el contra nefericitei lui țări. Dacă Bohr înțelegea, totul ar fi putut fi, poate, salvat.

Bohr însă a fost doar defavorabil impresionat de declarația lui Heisenberg că construcția unei bombe părea de domeniul posibilităților. Jungk afirmă că *„el ascultă, fără să-i dea o reală atenție, restul cuvîntării lui Heisenberg, în care savantul punea în discuție valoarea morală a bombei atomice. Atunci cînd acesta din urmă se despărți de profesorul danez, avu impresia, care se dovedi mai tîrziu adevărată, că nu a făcut altceva decît să agraveze situația. Neîncrederea lui Bohr față de fizicienii rămași în Germania hitleristă nu fusese micșorată de vizita fostului său elev. Din contră, căpătase convingerea că ei lucrau cu zel și succes la o bombă cu uraniu"*.

Această lipsă de înțelegere a hotărît poate soarta mai multor generații, fără să mai punem la socoteală consecințele ei directe. Este sigur că dacă atunci cînd s-a produs declarația de război *și cînd nici un guvern nu*

era la curent cu posibilităţile tehnice noi ale ştiinţei, nişte oameni ca Einstein, Joliot-Curie, Blackett, Heisenberg, Fermi, Kapitza şi alte cîteva personalităţi internaţionale din domeniul fizicii s-ar fi declarat pentru păstrarea secretului, antrenînd pe toţi colegii lor, omenirea n-ar fi fost înzestrată cu acele instrumente ale apocalipsului, pe care le cunoaştem.

„Poate că ar fi trebuit să constituim o asociaţie internaţională dispunînd de puteri disciplinare asupra tuturor membrilor ei", a scris Weizsäcker. Mai modest, Heisenberg a spus : *„În vara anului 1939, doisprezece oameni ar mai fi putut încă, printr-o convenţie comună, să împiedice construcţia bombelor atomice".*

Prizonier al anglo-americanilor

„La sfîrşitul războiului am fost făcut prizonier de trupele americane, împreună cu alţi cîţiva fizicieni atomişti, şi trimis în Anglia".

Astfel prezintă Heisenberg capturarea sa. N-a vrut să spună mai mult, însă se ghiceşte că a fost ţinta multor acuzaţii la care, din mîndrie sau din cauza neputinţei cuvintelor de a exprima în nişte împrejurări aşa de deosebite adevărul, el n-a înţeles să răspundă. Cum să-i explici cuiva că a face o alegere fără echivoc în Germania nazistă era ceva cu totul deosebit de o luare de poziţie într-o democraţie, oricît de imperfectă ar fi fost ea ?

Cum să explici lucrul acesta unor englezi pentru care libertatea individuală este un lucru sfînt, sau unor americani care nu cunoscuseră încă la ei acasă stupida „vînătoare de vrăjitoare" ? Aşa cum l-au bănuit pe Heisenberg, l-au bănuit şi pe Joliot-Curie.

Şi unul şi altul au trebuit să facă anumite concesii care n-au nimic comun cu „jocul dublu" al unui Pétain. De altfel, istoria le-a făcut între timp dreptate.

Mai tîrziu, Heisenberg a scris : *„Într-o dictatură nu poate exista o rezistenţă activă decît din partea celora ce dau impresia că sînt partizanii sistemului. Acela care ia public poziţie contra regimului se privează prin în-*

susi faptul acesta de toate posibilitățile de a face o rezistență eficace : sau se mulțumește cu critici întîmplătoare și inofensive, astfel că influența lui politică este redusă la zero sau, în cazul cînd încearcă să provoace o mișcare de opinie, de exemplu printre studenți, eșuează fără întîrziere într-un cîmp de concentrare. În cazul acesta, sacrificiul vieții lui rămîne practic necunoscut, fiindcă nimeni nu are dreptul să mai vorbească de el".

Funcționarii aliați care îl interogau la Londra n-ar fi putut să intre în asemenea considerații și, de altfel, le venea mult mai ușor să acuze.

A fost acuzat chiar și în Germania, unde rezistența activă a fost totuși faptul unei minorități ! În general, eroii mor din cauza îndrăznelii lor, iar Heisenberg nu s-a pretins niciodată erou, ci din contră :

„Oamenii de la 20 iulie — a scris el — *m-au făcut să simt cea mai mare rușine. Au opus o rezistență adevărată, cu sacrificiul vieții lor. Însă exemplul lor dovedește că orice opoziție eficace implică o simpatie prefăcută pentru puterea stabilită".*

Acești „oameni de la 20 iulie" sînt militarii care, în 1944, atunci cînd se confirma că debarcarea aliată reprezenta un succes, au încercat să se debaraseze de acela pe care pînă atunci îl urmaseră ca pe un învingător. Reprosul lor nu era că Hitler declanșase grozăvia, ci acela că pierdea.

Un muncitor asiduu și un savant modest

Heisenberg n-a fost eliberat de englezi decît în primăvara anului 1946. Imediat după repatriere, el a organizat, împreună cu cîțiva din foștii lui colaboratori, Institutul „Kaiser-Wilhelm", care a luat numele de Institutul „Max Planck". Instalat la început la Göttingen, acest centru de cercetări a fost mutat apoi la München, în clădiri noi, echipate cu material modern. *„Am venit să mă stabilesc acolo împreună cu întregul personal al institutului în vara anului 1958* — mi-a scris foarte simplu Heisenberg. — *Principalul meu domeniu de*

3. Werner Heisenberg la 25 de ani.

4. Werner Heisenberg in 1942.

muncă este nucleul atomului, pentru studiul teoriei particulelor elementare. Secția noastră experimentală se ocupă de mai mulți ani cu fizica plasmelor și cu controlul reacțiilor termonucleare".

Este un sector destinat exclusiv utilizării pașnice a reacțiilor de fuziune.

Dar chiar dacă R. F. a Germaniei ar avea bomba nucleară, putem fi convinși că Werner Heisenberg n-a participat la elaborarea ei. Mai întîi, fiindcă construcția unei bombe nu mai este de acum înainte decît o chestiune de tehnică, și, în al doilea rînd, *fiindcă el și-a interzis o dată pentru totdeauna s-o facă,* așa cum am văzut de la primele pagini ale acestei cărți, luînd această poziție atît pentru confrații lui, cît și pentru el însuși :

Nimeni dintre noi nu va participa, în indiferent ce mod, la construcția, experimentarea și folosirea armelor atomice.

Heisenberg nu e un om care-și calcă cuvîntul și, desigur, nu e nici un ambițios : *autobiografia* lui nici nu menționează lucrările sale despre *cîmpul unificat,* asupra căruia vom reveni în capitolul următor. Întrebat la Congresul Nobel, care s-a ținut la Lindau la sfîrșitul lunii iunie 1959, despre importanța ecuației care avea să-i aducă un val de popularitate în presa mondială la începutul anului 1958, el a răspuns cu modestie :

„Calculele mele, pe care le-am făcut împreună cu Pauli, sînt foarte încurajatoare în sensul unei explicații matematice posibile a influențelor reciproce pe care le exercită, una asupra alteia, particulele nucleare. Totuși, ultimul cuvînt nu a fost spus încă, astfel că noi cercetări sînt necesare ca să se ajungă la țel".

Werner Heisenberg nu pierde nici o clipă din vedere acest țel. Aceasta nu-l împiedică însă să se intereseze de problemele vieții de fiecare zi și, în special, de soarta celor tineri. De soarta lui proprie nu se interesează de loc, astfel că Joachim G. Leithaüser a mers pînă acolo încît să vorbească, din acest punct de vedere, de o „nepăsare juvenilă". Cîteodată se așază la orgă și cîntă cu virtuozitate o fugă de Bach : acesta este încă un fel ai lui de a comunica cu natura.

3

Fizica atomică modernă

Definiția clasică a termenului „fizică" este următoarea : *știința care are drept obiect studiul proprietăților generale ale corpurilor, precum și studiul legilor care tind să modifice starea sau mișcarea acestor corpuri, fără să le modifice natura.* Fizica se deosebește deci esențial de chimie, care se ocupă de *studiul transformării corpurilor în alte corpuri, diferite prin natura și aranjamentul atomilor.* Cu toate că se vorbește în prezent de fizică și de chimie nucleară, trebuie să admitem că, în domeniul nucleului atomic, fizica și chimia sînt strîns legate prin însuși faptul că un efect eminamente fizic (și numai fizic) poate duce la transformarea (faimoasa *transmutație,* scumpă alchimiștilor medievali) unui element în alt element. Într-adevăr, dacă reușim să introducem o nouă particulă elementară în nucleul unui anumit element sau să extragem una din particulele constitutive ale nucleului unui anumit element, transmutația se realizează. Chiar și aurul este susceptibil (cel puțin teoretic deocamdată) să fie obținut din metale mai „ordinare". Mi se pare că s-a reușit chiar să se facă „un pic" de aur din mercur, iar în laboratoare se poate vedea în fiecare zi cum oxigenul, de exemplu, se transformă în azot etc.

Teoria atomică simplă — așa cum a fost dedusă de Avogadro din lucrările predecesorilor săi și în care atomul nu mai era acela al gînditorilor antici — nu lăsa să se prevadă transmutația. Heisenberg s-a străduit să scrie o dare de seamă deosebit de clară a teoriilor fizice, din care am reprodus în capitolul „Texte alese" de la

finele cărții, partea care se extinde de la Tales din secolul al VI-lea î.e.n., pînă în secolul al XIX-lea, cînd s-a înțeles că electricitatea este legată de materie și că totul se petrece ca și cînd ar exista un „atom de electricitate": *electronul.*

Pînă în acest din urmă secol, atomul era privit încă, după etimologia lui, drept *a-tomos,* adică indivizibil. Primele îndoieli s-au ivit o dată cu descoperirea de către Henri Becquerel a radioactivității naturale, descoperire care a fost confirmată de lucrările lui Pierre și Marie Curie. În 1900, în fine, William Crookes a realizat o experiență care urma să-i conducă pe Rutherford și pe Soddy la descoperirea primei legi a radioactivității.

Cei doi fizicieni britanici au scos în evidență faptul că radiațiile emise de corpurile radioactive pot fi de trei feluri :

a) radiația α *(alfa),* care se comportă ca și cînd ar fi încărcată cu electricitate cu semnul + (pozitiv) ; b) radiația β *(beta),* care se comportă ca și cînd ar fi încărcată cu electricitate cu semnul — (negativ) ; radiația γ *(gamma),* care se comportă „neutru" din punct de vedere electric (nu este deviată în cîmpurile electroenergetice).

Rutherford a arătat că numai radiația γ (adică cea de-a treia radiație) este o „adevărată" rază, și că celelalte două sînt fluxuri de particule. Pseudoradiația α este constituită din nuclee de heliu, iar radiația β din electroni. S-a înțeles atunci că atomul nu este „partea ultimă și indivizibilă" a materiei, ci doar *cea mai mică parte a unui element, care, luată izolat, are toate proprietățile acestui element.* Atomul, așa cum îl concepem astăzi și așa cum apare în experiențele noastre, este *un sistem de particule interschimbabile de la un element la un alt element.*

Înainte ca Rutherford și Bohr să fi prezentat schema devenită clasică a atomului, au fost propuse diferite structuri, în special de către Jean Perrin, însă singura din ele care trebuie reținută, *într-o primă aproximație,* este aceea a atomului planetar, constituit dintr-un *nucleu* încărcat cu electricitate pozitivă și din *electroni* încărcați cu electricitate negativă, care compensează foarte exact (în atomul ideal) sarcina nucleului și rea-

lizează neutralitatea electrică a ansamblului atomic. Ceea ce trebuie reținut în mod special este diferența fundamentală care există între acest atom, *ca sistem de particule,* și atomul celor din vechime, ca *masă inertă și care nu poate fi descompusă.* În concepția despre atomul așa cum ni-l arată experiența, și nu numai „așa cum îl concepem noi", a fost introdusă noțiunea de „spațiu vid" (între particule) și aceea de mișcare a particulelor. Evident că într-o masă compactă nu poate fi concepută o mișcare. De fapt, conform formulei consacrate prin vulgarizare, *„atomul este făcut mai mult din vid",* așa cum sistemul nostru solar este compus, în esență, tot din vid, avînd la centru, prin analogie cu nucleul, enormul Soare, în jurul căruia gravitează, prin analogie cu electronii, toate micile planete. În realitate, analogia este extrem de grosolană și nu rezistă unui examen, chiar superficial. Calculul arată că aproape totalitatea masei unui atom este reprezentată numai de nucleu, în timp ce masa electronilor este cu totul neînsemnată. Ținînd seama de dimensiunile unui atom „complet" în raport cu nucleul său (spațiul ocupat de nucleu este foarte mic în comparație cu spațiul total în care evoluează electronii), precum și de faptul că materia, *care deși nu este formată decît din atomi,* este totuși ceva foarte compact, sîntem forțați să admitem că vidul atomului *este umplut de mișcarea electronilor* în jurul nucleului lor.

Reluînd o imagine de vulgarizare extremă, care a mai fost folosită în lucrările precedente, să ne închipuim o elice de avion cu patru pale, mai întîi în stare de repaus și apoi învîrtindu-se cu toată viteza. Vidul dintre pale ar fi vidul atomului, care se „umple" din momentul în care elicea începe să se învîrtească. Bineînțeles că vidul nu dispare de loc : un proiectil suficient de rapid poate trece foarte bine printre palele care se învîrtesc cu foarte mare viteză, fără să le atingă. Cam așa ceva a făcut, în esență, fizicianul Lenard atunci cînd a folosit electronii rapizi ca să demonstreze că atomul nu este compact, și, bazîndu-se pe experiențele acestui fizician, Rutherford și-a prezentat primul său „atom planetar".

Pentru a ne face o idee despre raporturile de mărime din interiorul atomului, să ni-l închipuim mărit la niște

proporţii uriaşe. Iată-l ajuns, în totalitatea lui, la un diametru de 10 cm, ceea ce ar însemna că electronul cel mai îndepărtat de nucleu să graviteze la 5 cm de centrul atomului, care ar fi de asemenea şi centrul nucleului. Nucleul însuşi nu ar avea, în acest caz, decît un diametru de o sutime de milimetru. Aceste cifre arată cît de imens este vidul atomului în comparaţie cu spaţiul ocupat *de materie.* Să adăugăm, cu titlu indicativ, pentru a face şi un alt gen de comparaţie, că ar trebui „aliniaţi" 10 milioane de atomi de hidrogen pentru a se obţine o lungime de 1 mm şi că pe o lungime egală cu diametrul unui atom ar putea fi „aliniate" 100 000 de nuclee...

Atomul nu este indivizibil

Primii teoreticieni transpuseseră, ca să zicem aşa, calitatea de indivizibilitate a atomului, la nucleul acestuia, considerat pe atunci, la rîndul lui, ca „indivizibil". Această supoziţie nu a mai corespuns însă în curînd rezultatelor experimentale, astfel că oamenii de ştiinţă s-au văzut obligaţi să admită că şi nucleul este un *sistem de particule* care sînt permanent în mişcare, într-un fel de oscilaţie, potrivit unor anumite norme. S-a ajuns să se-nţeleagă că în nucleu există tot atîtea particule încărcate cu electricitate pozitivă *(protoni),* cîţi electroni (încărcaţi cu electricitate negativă) se rotesc în jurul nucleului. Cum, după legea lui Coulomb, sarcinile contrare se atrag (în timp ce sarcinile de acelaşi fel se resping), electronii ar „cădea" pe nucleu (adică s-ar uni cu protonii), dacă n-ar fi animaţi de o viteză proprie, care să compenseze atracţia electrostatică pe care o resimt protonii şi electronii unii pentru alţii.

Să semnalăm în treacăt analogia care există în acest caz cu forţa gravifică : Luna ar „cădea" pe Pămînt (ar fi atrasă ireversibil de Pămînt, apoi acesta de Soare etc.) dacă viteza ei de rotaţie nu ar compensa exact atracţia reciprocă a celor două mase.

Numărul de revoluţii făcute de unicul electron al atomului de hidrogen, în jurul protonului unic, care re-

prezintă nucleul acestui atom (nucleul atomului de hidrogen este protonul tuturor atomilor) este de ordinul a 6 milioane de miliarde pe secundă. Cu cît atomul este mai greu, adică cu cît elementul pe care îl reprezintă include mai mulți protoni în nucleul lui (și deci mai mulți electroni sateliți în jurul acestui nucleu, echivalența protoni-electroni realizînd neutralitatea electrică a ansamblului atomic), cu atît mai puternică este atracția dintre protoni și electroni și deci mai mare energia cinetică a electronului considerat. Un electron din prima pătură a unui atom va vibra cu atît mai aproape de nucleu și cu atît mai rapid, cu cît va face parte dintr-un atom mai greu. La atomii din păturile următoare viteza de rotație a electronilor scade, pe măsură ce crește distanța față de nucleu.

Un atom de uraniu — cu nucleul lui constituit din 92 de protoni (plus 146 de neutroni la izotopul 238), în jurul căruia se rotesc 92 de electroni sateliți — are, ce-i drept, un diametru ceva mai mare decît atomul de hidrogen. Ceea ce crește însă foarte mult atunci cînd se trece de la un atom ușor la un atom greu este *densitatea* materiei în raport cu spațiul ocupat de atom, fapt care se reflectă în densitatea elementului considerat.

Cuanta de acțiune

În atom, electronii se repartizează în jurul nucleului pe „nivele cuantice".

În anul 1900, ca urmare a unor observații precise, Max Planck a ajuns să descopere că lumina este rezultatul unui mecanism de oscilație a atomilor care nu se dezvoltă într-un mod progresiv și continuu, ci, din contră, prin „salturi succesive", adică după un proces discontinuu, care începe cu absorbția de către atom a unei anumite cantități de energie. *„Radiația* — enunța el — *trebuie emisă sau absorbită prin «porții», sau cuante"*.

Aceasta înseamnă că nu se poate produce o emisie sau o absorbție de radiație sub o valoare minimă, care depinde de specificul fiecărei radiații : energia de oscila-

ție a atomilor nu poate avea deci decît această valoare, sau un multiplu întreg al ei.

El a arătat că energia cuantei poate fi măsurată cu ajutorul formulei :

$$E = h\nu,$$

în care E este energia ; ν (niu, din alfabetul grec) — frecvența radiației, iar h — o mărime convențională, denumită „constanta lui Planck", care este egală cu $6{,}62 \times 10^{-27}$ ergi/s.

Această formulă ne arată că pe măsură ce crește frecvența radiației electromagnetice, absorbită sau emisă de materie, crește și energia purtată de fiecare cuantă. Dacă energia cuantei crește, lungimea de undă scade.

Planck nu pomenise însă nimic în legătură cu compoziția radiației luminoase. Oamenii de știință rămăseseră încă la noțiunea de undă suportată de „eter" (Fresnel, Young, Maxwell). Or, Lenard tocmai arătase că atunci cînd o rază de lumină lovește suprafața unui metal, lucru care (știm astăzi) provoacă smulgerea unor electroni, energia cu care sînt ejectați electronii (folosim noțiunea modernă pentru a simplifica lucrurile) nu depinde de *intensitatea* razelor luminoase, ci numai de culoarea lor, adică *de frecvența* radiației. Putem spune că oricare ar fi distanța la care se află sursa luminoasă în raport cu obiectul bombardat de radiație, electronii sînt smulși cu aceeași viteză, dar că numărul smulgerilor scade pe măsură ce distanța crește. Din contra, viteza electronilor smulși va fi mai mare, atunci cînd este vorba de lumina violetă (lungimi scurte de undă, deci frecvențe înalte), decît atunci cînd avem de-a face cu lumina roșie (lungimi mari de undă, deci frecvențe joase).

Efectul fotoelectric

În 1905, Einstein a sugerat că legile efectului fotoelectric indică existența unei structuri discontinue a luminii, legată de cuanta de acțiune. El a admis deci, *a priori* că orice radiație monocromatică este împărțită în

„boabe" a căror energie este proporțională cu frecvența, constanta de proporționalitate fiind cea a lui Planck.

Începînd cu acest an deci, fenomenele observate în „efectul fotoelectric" puteau fi interpretate rațional. Atunci cînd un electron, făcînd parte dintr-un atom al materiei care primește energia luminoasă, este lovit de o radiație, el absoarbe energia unui „bob", a unei cuante, sau a unui *foton,* cum urma să fie denumit mai tîrziu „bobul de lumină". Această cuantă de energie este ceea ce „împinge", ca să spunem așa, electronul în afara materiei în care este *„închis"* în stare stabilă (efectul îl are însă numai o cuantă, sau un multiplu de cuante, și nu o energie mai slabă decît a unei cuante, iar o energie ceva mai mare decît a unei cuante nu acționează diferit).

Electronul expulzat prin acțiunea luminii va poseda. teoretic, o energie cinetică egală cu energia fotonului absorbit, de fapt micșorată cu „lucrul mecanic" necesar pentru expulzarea lui din materie. Această energie cinetică va fi *„o funcție liniară de frecvența radiației incidente"* (L. de Broglie), iar coeficientul unghiular al dreptei care o reprezintă în raport cu frecvența este egal, numeric, cu constanta lui Planck.

Toate previziunile lui Einstein au fost confirmate de experiență. Dacă se variază frecvența luminii incidente, se constată că efectul fotoelectric se produce numai atunci cînd frecvența este superioară unei anumite valori, *pragul fotoelectric.* În domeniul de frecvență în care are loc efectul, energia cinetică a electronilor accelerați de fotoni (fotoelectronii) este și ea o funcție liniară de frecvența luminii incidente, și, dacă se trasează dreapta care reprezintă această dependență liniară, coeficientul ei unghiular se dovedește a fi egal, numeric, cu constanta lui Planck, așa cum se prevăzuse.

Trebuie subliniat că în concepția granulară a luminii, intensitatea radiației incidente măsoară numărul de particule de energie care interacționează pe secundă, pe centimetrul pătrat de suprafață a corpului iradiat. Rezultă că numărul efectelor fotoelectrice care se produc pe secundă în interiorul acestui corp este proporțional cu intensitatea luminii.

Vom nota, pentru a reține, că cu cît un electron gravitează pe o orbită mai apropiată de nucleu, cu atît mai puternică este legătura pe care cîmpul electrostatic o creează între el și nucleu. Va fi nevoie deci, în acest caz, de mai multă energie pentru a-l smulge de pe această orbită. În schimb, atunci cînd revine pe nivelul lui cuantic, electronul va emite, firește, o cuantă corespunzătoare de lumină, adică o cuantă care posedă o energie cu atît mai mare, cu cît electronul gravitează pe o orbită mai apropiată de nucleu. Aceasta înseamnă că un electron de pe o pătură internă va emite lumină violetă, în timp ce un electron de pe o pătură periferică va emite lumină roșie.

Nivelele cuantice

Orice particulă este înzestrată cu o mișcare de rotație proprie, a cărei origine trebuie căutată poate în natura însăși a masei-energie, adică a ceea ce Vigier a numit *nivelul subcuantic.*

Electronii care gravitează în jurul nucleului, în unul sau celălalt din sensurile posibile și pe orbite diferit înclinate, care dau atomului aspectul unui continuu spațio-temporal pseudosferic, sînt înzestrați deci cu un *„spin"*, sau cu un *„moment cinetic"* propriu.

Spinul, proprietate inerentă oricărei particule, ca și mișcarea este întotdeauna cuantificat. (Cititorul poate găsi unele amănunte privind această noțiune fundamentală în lexicul sumar de la sfîrșitul cărții).

Teoria cuantelor arată că în cazul nucleului care conține un singur proton, în jurul căruia gravitează un singur electron ca satelit (atomul de hidrogen), avem o traiectorie fundamentală de 53 micromicroni. Datorită vitezei sale proprii, care compensează efectul cîmpului electrostatic (atracția reciprocă dintre proton și electron), electronul se învîrte de aproape 6 milioane de miliarde de ori pe secundă în jurul protonului, pe o orbită circulară afectată de o mișcare de precesie, ceea ce permite ca și atomul de hidrogen să-și păstreze imagi-

nea sferică schematică de care s-a vorbit mai sus. Dacă acestui electron i se furnizează o cuantă de energie, el sare pe nivelul cuantic superior şi gravitează cu o viteză de două ori mai mică. Atunci cînd excitaţia încetează, electronul revine pe orbita originară, restituind, sub forma unui foton, energia pe care o primise.

Principiul de excluziune, al lui Pauli, stabileşte cu precizie normele conform cărora electronii sateliţi se distribuie pe cele şapte nivele cuantice. Locul fiecărui electron într-un atom dat este fixat, pe de o parte, de efectele de rezonanţă, care determină „starea staţionară" a electronilor (dar care nu înseamnă o încetare a mişcării, ci starea fundamentală în care sistemul nu emite nici o radiaţie) pe orbitele K, L, M, N, O, P, Q, (crescînd cu pătratele numerelor întregi), şi, pe de altă parte, de interacţiunile reciproce care limitează numărul electronilor care pot încăpea pe cele şapte nivele cuantice posibile.

De exemplu, în stare staţionară, unicul electron al atomului de hidrogen gravitează în pătura K ; la atomul de fier avem 2 electroni în pătura K, 8 în pătura L, 14 în pătura M, 2 în pătura N ; la atomul de uraniu avem 2 electroni în pătura K, 8 electroni în pătura L, 18 electroni în pătura M, 32 de electroni în pătura N, 21 de electroni în pătura O, 9 electroni în pătura P şi 2 electroni în pătura Q.

Pentru amănunte privind repartiţia electronilor conform regulilor cuantice, cititorul este rugat să folosească unul din manualele recente de fizică. Vom insista doar asupra faptului că volumul spaţial al unui atom nu creşte în proporţie cu masa lui. Din cauză că intensitatea cîmpului electromagnetic creşte cu numărul protonilor din nucleu, este uşor de înţeles că cei doi electroni din pătura K a atomului de uraniu de exemplu, cu cei 92 de protoni ai lui, se vor situa mult mai aproape de nucleu decît unicul electron al atomului de hidrogen al cărui nucleu este reprezentat printr-un singur proton. Din punctul de vedere al raportului masă/volum, elementele zise „uşoare" au realmente o densitate mică, în timp ce elementele „grele" sînt extrem de dense. Aceas-

tă situație o regăsim atunci cînd examinăm elementele lumii noastre sensibile în condiții „normale" de presiune și de temperatură, adică în condițiile existente pe planeta noastră. Acționînd asupra acestor presiuni și temperaturi, sînt posibile, în teorie cel puțin, orice fel de transformări ale gazelor în lichide și solide (și, invers, ale solidelor în lichide și gaze, prin mărirea temperaturii). Experiența a arătat însă că și la zero absolut (—273°C) mai subzistă încă o vibrație reziduală, care împiedică, de exemplu, ca heliul să treacă în formă solidă.

Pentru a termina această scurtă rememorare a generalităților, să mai arătăm că proprietățile chimice ale unui element depind de numărul electronilor care gravitează pe nivelul cuantic cel mai exterior (fiindcă legăturile moleculare depind ele însele de combinațiile atomilor, care se fac la nivel electronic). Există metale (sau elemente considerate ca metale) ai căror atomi au 1, 2 și 3 electroni periferici. Primele sînt „electropozitive", ceea ce înseamnă că în legăturile chimice, electrovalente, ele cedează ușor electronii lor periferici (devenind astfel ioni pozitivi), celor de-al doilea, care sînt „electronegative" și acceptă ușor electronii cedați (devenind prin această operație ioni negativi).

Atomii saturați, cu 8 electroni periferici (gaze rare, ca radonul sau neonul), nu intră practic în combinație cu alți atomi. Din contră, atomii cu 4 electroni periferici, numiți „semiconductori" se leagă tot așa de bine cu metalele ca și cu metaloizii *sau cu ei înșiși*, permițînd numeroase și felurite combinații. Acesta este în special cazul carbonului, element fundamental al structurilor vii.

Dualismul undă-corpuscul

Părea, în secolul al XIX-lea, un fapt definitiv stabilit că lumina este un fenomen cu caracter ondulatoriu. Descoperirea de către Herz, în 1887, a efectului fotoelectric a evidențiat însă primul fenomen care obliga pe oamenii de știință să recunoască că acțiunea luminii asu-

pra materiei nu putea fi explicată numai prin „vibrațiile eterului". Cel puțin în parte, Newton a avut dreptate.

După ce experiențele lui Michelson și Morley dăduseră lovitura de grație eterului, așa cum era conceput atunci (după cum fatală îi fusese și teoria relativității restrînse), Einstein a arătat că se poate da o interpretare efectului fotoelectric, admițînd că în orice undă luminoasă de frecvență υ energia este concentrată în „granule" de valoare $h\upsilon$ (h — constanta lui Planck).

Este un fapt incontestabil însă că lumina nu este numai un flux de fotoni, fiindcă frecvența este o noțiune ondulatorie. Teoria corpusculară singură n-ar putea explica, de altfel, fenomenele de interferență și de difracție observate, așa după cum fusese observat și efectul fotoelectric. Nu există nici o îndoială că după felul în care este observată, lumina se comportă fie ca o undă, fie ca un flux de corpuscule.

Puțin timp după aceea s-a întrezărit posibilitatea ca și electronul (iar acum orice altă particulă) să se comporte, în anumite condiții, ca o undă...

Bohr și Sommerfeld au arătat că introducînd cuantele în teoria atomului, așa cum era prezentată pe atunci de Rutherford, se obținea o interpretare care se potrivea cu un număr de fenomene observate : electronii și alte corpuscule nu urmau legile mecanicii clasice și nu puteau să aibă decît anumite stări de mișcare (stările staționare ale lui Bohr), care satisfăceau „anumite condiții ale teoriei cuantelor". Toate acestea conduceau direct la noțiunea de numere cuantice și la consecințele semnalate mai sus, adică la *discontinuitatea* fenomenelor de absorbție și de emisie a energiei.

„Această apariție a numerelor întregi în problemele de micromecanică — scrie dl. Louis de Broglie[1] —*putea să pară surprinzătoare, dar cum numerele întregi apar adeseori în teoria undelor la calculul fenomenelor de interferență sau de rezonanță, se putea întrezări aici o indicație în favoarea ideii că pentru electroni și pentru*

[1] *Encyclopédie française*, tom. II, *Fizică*, cap. 2 : 2.50—5.

alte corpuscule materiale există — ca și pentru fotoni și pentru undele luminoase — o dualitate undă-corpuscul".

Dl. Louis de Broglie precizează că pentru el „*corpusculul este un fel de singularitate în sînul unui fenomen ondulatoriu întins, al cărui centru este corpusculul*".

Formula lungimii de undă echivalentă unei particule în mișcare este $\lambda = \frac{h}{m v}$. Această „undă de materie" nu este o radiație electromagnetică, cu toate că ea ar putea să aibă aceleași lungimi de undă ca și lumina vizibilă sau invizibilă.

Unda căreia i s-a dat denumirea Ψ (psi, din alfabetul grec) are lungimea de undă $\lambda = \frac{c^2}{v} \cdot \frac{h}{E} = \frac{h}{p}$ (p fiind cantitatea de mișcare, h — constanta lui Planck, E ($E = mc^2$) — energia, v — viteza particulei, iar c — viteza luminii).

Cele două formule ale mecanicii ondulatorii se scriu :

$$E = h\nu, \qquad p = \frac{h}{\lambda}.$$

Ele leagă mărimile corpusculare E și p, cu mărimile ondulatorii ν și λ.

Pentru dl. Louis de Broglie, unda „însoțește" (undă asociată), ca să zicem așa, corpusculul. Din contră, în mecanica ondulatorie a lui Schrödinger, drept „reale" sînt considerate numai undele. Autorul precizează : „*Numai undele pot avea o semnificație fizică, iar propagarea lor dă loc, în anumite cazuri, unor aparențe corpusculare*".

Mecanica cuantică

Fiică a cuantei lui Planck, și a mecanicii ondulatorii, deși concepută pe baza unor principii cu totul diferite, mecanica cuantică se bazează pe noțiunea de *probabilitate.*

„Armată numai cu unda sa Ψ — scrie dl. Louis de Broglie[1] — *interpretarea uzuală a mecanicii ondulatorii n-a putut menține ideea tradițională potrivit căreia corpusculele descriu în spațiu o traiectorie bine definită, avînd în fiecare punct al acestei traiectorii o viteză bine determinată. Această concepție nu i s-a mai părut valabilă decît în cazuri limită, foarte particulare. De aceea, mecanica ondulatorie a fost silită, în mod necesar, să ia o formă «probabilistă»*".

Această transformare a avut mai multe urmări și, în special, înlocuirea legilor deterministe ale mișcărilor corpusculare, folosite în mecanica clasică, prin formulări probabiliste degajate inițial din lucrările lui Schrödinger și din cercetările lui Max Born.

Au venit apoi *relațiile de incertitudine* ale lui Werner Heisenberg, care au decurs din observația făcută de Bohr și Heisenberg că este imposibil să se cunoască simultan poziția și starea de mișcare a unui corpuscul.

Să presupunem un corpuscul în flux continuu și permanent, animat — în afara oricărui cîmp de forță — de o mișcare rectilinie și uniformă. Conform mecanicii ondulatorii, unda sa asociată Ψ este o undă plană monocromatică, de frecvență E/h și de lungime de undă h/p. În cazul acesta, starea de mișcare este perfect cunoscută. În schimb, după principiul interferențelor, poziția este complet necunoscută, și deoarece cantitatea $|\Psi|^2$ este în acest caz o constantă, toate pozițiile din spațiu sînt la fel de probabile.

Acesta este un caz limită. În general, unda Ψ este formată dintr-o suprapunere de unde plane monocromatice, constituind un grup de unde de dimensiuni limitate. Deci, intensitatea undei Ψ^2 nu este diferită de zero decît în regiunea ocupată de grupul de unde, astfel că poziția este mai bine definită decît în cazul limită citat mai sus.

Dar fenomenul acesta mai are și altă față.

Deoarece un grup de unde de dimensiuni finite comportă în mod necesar o suprapunere de unde plane monocromatice și fiindcă unor anumite componente le co-

[1] *Loc. cit.*

respunde o stare de mişcare diferită, nu mai putem atribui corpusculului o stare de mişcare bine definită: principiul descompunerii spectrale ne arată, într-adevăr, că există o întreagă serie de valori posibile ale cantităţii de mişcare, afectate de probabilităţi diverse. Ceea ce se cîştigă în cunoştinţe asupra poziţiei, atunci cînd se trece de la unda plană monocromatică la grupul de unde limitat, se pierde în cunoştinţele asupra cantităţii de mişcare.

„*Mai putem considera încă* — scrie dl. Louis de Broglie — *cazul limită opus aceluia al undei plane, şi anume cazul unui grup de unde de dimensiuni infinit de mici. Reprezentarea lui Fourier a grupului de unde comportă atunci, după cum se poate demonstra, suprapunerea de unde plane monocromatice avînd toate lungimile de undă şi toate direcţiile de propagare posibile. Se vede deci, că în timp ce poziţia este acum determinată (deoarece grupul de unde este aproape punctual), starea de mişcare este cu totul nedeterminată, fiindcă toate mărimile şi toate orientările cantităţii de mişcare sînt la fel de probabile*".

Este uşor de conchis că în observarea unui fenomen la scara microcosmului, *cu cît este definită mai bine poziţia, cu atît mai mare este incertitudinea asupra cantităţii de mişcare, şi invers.*

„*Acest fapt poate fi exprimat* — subliniază dl. de Broglie — *sub formă cantitativă, bazîndu-ne pe proprietăţile matematice ale reprezentării grupurilor de unde prin integralele lui Fourier*".

Se demonstrează astfel că dacă Δx, Δy, şi Δz, indică dimensiunile unui grup de unde de-a lungul a trei direcţii rectangulare, componentele monocromatice ale acestui grup de unde ocupă întotdeauna un interval spectral astfel ca să avem în ordine de mărime:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geqslant h,\ \Delta y \cdot \Delta p_y \geqslant h,\ \Delta z \cdot \Delta p_z \geqslant h,$$

adică „*relaţiile de incertitudine*".

---

[1] *Loc. cit.*

Relațiile de incertitudine ale lui Heisenberg arată deci că *nu se pot atribui niciodată unui corpuscul, la un moment dat, o poziție și o stare de mișcare perfect determinate.* Cu cît este cunoscută mai precis una din coordonate, cu atît este mai incertă valoarea componentei corespunzătoare a cantității de mișcare, și invers.

Inegalitatea $\Delta E \cdot \Delta t \geqslant h$ este complementul celor trei inegalități precedente : ΔE reprezintă incertitudinea minimă care subzistă asupra valorii energiei la sfîrșitul unei măsurări a acestei mărimi care a durat un timp Δt.

După cum afirmă dl. de Broglie, relațiile de incertitudine ale lui Heisenberg pot fi interpretate în felul următor :

„Dacă, așa cum se admite în mecanica ondulatorie, starea unui corpuscul poate fi reprezentată întotdeauna printr-o undă, Ψ o măsurare făcută cu cea mai mare precizie posibilă nu poate să ne dea, pe coordonate și pe componentele cantității de mișcare a unui corpuscul, decît indicații compatibile cu relațiile de incertitudine. Analizînd diverse procedee de măsură, d-nii Bohr și Heisenberg au arătat că după toate aparențele lucrurile se petrec cu adevărat așa, și aceasta datorită însăși existenței cuantei de acțiune".

Mecanica matricială și relațiile de incertitudine

Expunerea care precedă rămîne strîns legată de mecanica ondulatorie. Or, mecanica cuantică, cu toate că tinde spre aceleași obiective, are un specific propriu și o independență totală față de mecanica ondulatorie. Mecanica cuantică pleacă, de altfel, de la un sistem de calcul puțin obișnuit. În algebra curentă, $ab = ba$, exact după cum 3×4 sau 4×3 fac întotdeauna 12. Heisenberg, după ce a studiat cu o atenție deosebită anumite teorii matematice, al căror aspect abstract n-are ce căuta în această carte, cu atît mai mult că ele depășesc mult posibilitățile autorului... a ajuns să susțină că *ab* poate fi diferit de *ba*.

Ne reamintim că înainte de a pleca să-şi îngrijească (sau ca să capete) guturaiul pe insula Heligoland, de Rusaliile anului 1925, Heisenberg depusese pe biroul profesorului său, Max Born, o lucrare cu totul originală, şi că aştepta pe Heligoland, nu fără oarecare îngrijorare, ştiri despre felul în care lucrarea fusese primită de acest judecător de primă instanţă. Va trebui să ne repetăm puţin.

După Helmut Carl[1], Born urma să istorisească evenimentul treizeci de ani mai tîrziu, în discursul pe care l-a ţinut cu ocazia primirii Premiului Nobel, la Stockholm :

„Regula înmulţirii a lui Heisenberg nu mă lăsa în pace, astfel că după opt zile de meditaţie intensă şi de încercări, mi-am adus deodată aminte de o teorie algebrică pe care o învăţasem de la profesorul meu Rosanes, din Breslau. Am aplicat schema lui pătrată, matricele, la condiţiile cuantice ale lui Heisenberg".

Metoda complet elaborată, regăsită de Born, se prezintă astfel :

$$\left\{\begin{array}{llll} q_{00} & q_{01} & q_{02} & \cdots \\ q_{10} & q_{11} & q_{12} & \cdots \\ q_{20} & q_{21} & q_{22} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{array}\right| = q$$

Matematic, un asemenea aranjament se numeşte o *matrice.*

Dacă diferiţii q_{mn} sînt înlocuiţi prin expresia matematică a diferitelor stări posibile ale atomului — *„şi dacă* — precizează Helmut Carl — *ştii să calculezi cu acest instrument ciudat"* — se obţin rezultate juste, fără ipoteze forţate sau suplimentare.

Din punct de vedere fizic, noua matematică se deosebeşte destul de puţin de regulile de calcul uzuale :

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i} \cdot$$

[1] *Les secrets de la matière*, p. 169 şi urm.

„Iată — arată Helmut Carl — *ce trebuie să scrie acela care vrea să facă calcule în domeniul atomic".*

În lumea experienței noastre, care este mare, comentează mai departe Helmut Carl, *h*, cuanta lui Planck, este un număr *foarte* mic și „practic" nul ; cînd se poate lua $h = 0$, regăsim că $pq = qp$ și că 3×4 sau de 4×3 fac tot 12. *Numai în microcosm, în care cuanta de acțiune stă la baza fenomenelor, regulile de calcul uzuale nu mai sînt valabile.*

În mecanica cuantică, astfel cum a apărut ea în 1925, în locul orbitelor planetare ale electronilor, propuse de Bohr, apărea o schemă numerică, căreia nu-i corespundea nici o imagine concretă. Curios însă, că tocmai această abstracție este aceea care reprezintă cel mai bine fenomenele, în sensul că previziunile sale *statistice* se potrivesc cu experiența.

În „noua" lui mecanică ondulatorie (nouă în raport cu mecanica ondulatorie a lui Louis de Broglie, publicată în 1924), elaborată în 1926, Schrödinger, bazîndu-se pe teoria funcțiilor sferice (cu ajutorul cărora calculul este mai ușor decît cu matricele), a găsit aceleași rezultate ca și Heisenberg, Born și Jordan. Schrödinger a demonstrat că mecanica ondulatorie și mecanica cuantică (mecanica matricială) au o valoare matematică egală. Folosirea primei este mai ușoară, însă imaginea tridimensională pe care ea o oferă (undă sferică care înconjură nucleul atomului) nu este valabilă decît în ceea ce privește atomul de hidrogen și nu depășește stadiul atomului de heliu simplu ionizat. Doi electroni impun deja un spațiu cu șase dimensiuni și, de aceea, arată Helmut Carl, *„mecanica ondulatorie devine un formalism matematic de care nu se mai leagă nici o reprezentare concretă, oricît de perfecte și de eficace ar fi calculele pe care ea le permite".*

Einstein și dl. Louis de Broglie înclinau pentru „realitatea corpusculară" ; Schrödinger pentru „realitatea undei". În esență, trebuie să admitem că particula (fiindcă este imposibil să negăm existența masei, pe care putem s-o vedem și s-o pipăim, și care există, fără îndoială, în afara reprezentării pe care și-o face observato-

rul) se comportă fie ca un corpuscul, fie ca o undă, că ea are un „aspect dublu" și că, în fond, acest lucru se potrivește cu „experiența" : materia nu se „creează" plecînd de la o entitate, energia, și nici nu se „anihilează". Masa și radiația (sau cîmpul) sînt *aspecte diferite* (sau, dacă vreți, complementare) ale unei aceleiași realități pe care, în lipsa unui alt cuvînt, avem dreptul s-o numim „materie".

Fără îndoială că aceasta nu redă exact convingerea intimă a autorilor mecanicii cuantice, deși scopul lui Heisenberg a fost, incontestabil, să „traducă realitatea" și nu să se mulțumească cu imagini „comode" (în sensul înțeles de Poincaré). La începutul lucrărilor sale, Heisenberg dorea să elimine din vechea teorie, pe baza concepției „atomului lui Bohr", tot ce nu corespunde unei *„măsurări fizice posibile"*, pentru ca să nu păstreze decît „mărimile măsurabile", prezentate astăzi sub denumirea de „observabile". Abia mai tîrziu a ajuns la considerațiile sale asupra rolului observatorului (și al instrumentelor pe care le folosește observatorul). Este neîndoielnic totuși că raționamentul său de bază este inatacabil.

Atunci cînd dorim să măsurăm *simultan,* cu o precizie *absolută,* poziția și viteza unui corpuscul din domeniul atomului, găsim că n-avem posibilitatea s-o facem. De ce ? Pentru că trebuie să folosim unde foarte scurte, ca să ajungem la particulă, căreia, tocmai prin această operație, îi comunicăm o energie care îi perturbă poziția. Ajungem la o imprecizie, la o *incertitudine* a cărei valoare a fost indicată de Heisenberg (incertitudinile lui Heisenberg) :

$$\Delta p \cdot \Delta q \geqslant h \, ;$$

Δp este incertitudinea unei măsurări a mișcării, iar
Δq este incertitudinea unei măsurări a poziției.

Produsul lor este cel puțin egal cu cuanta de acțiune h, care apare ca o valoare determinantă.

Dacă vrem acum să măsurăm poziția q, a corpusculului, adică să egalăm incertitudinea q, vom avea :

$$\Delta p \geqslant \frac{h}{\Delta q},$$

adică o valoare infinită a incertitudinii referitoare la măsura mișcării.

Putem spune, în rezumat, că grație mecanicii cuantice, ceea ce s-a cîștigat în precizie din punctul de vedere al „realității" atomice, s-a pierdut din punctul de vedere al reprezentării concrete. Omul de știință însă trebuie să evite în primul rînd pericolul antropomorfizării ; *în prezent, și cu mijloacele de care dispunem,* atomul nu poate fi explicat altfel decît sub formă probabilistă.

Relațiile de incertitudine ale lui Heisenberg arată că nu se pot atribui unui corpuscul, la un moment dat, o poziție și o stare de mișcare perfect determinate. Cu cît este cunoscută mai precis coordonata poziției, cu atît este mai nesigură valoarea componentei corespunzătoare a cantității de mișcare, și invers.

4

În nucleul atomului

La începutul acestui secol s-a observat că sustrăgînd electroni dintr-un atom dat, acesta se transforma într-un *ion pozitiv,* adică capabil să atragă sarcini electrice de semn negativ. Lucrul acesta indica prezența electricității pozitive în atomi.

În jurul anului 1900, experiențele lui Rutherford asupra trecerii pretinselor „radiații α" (nuclee de heliu) prin materie au demonstrat că electricitatea de semn pozitiv este concentrată în centrul atomului, în ceea ce a fost numit imediat „nucleu".

Nucleul era considerat pe atunci „indivizibil". După exemplul electronului („particula de electricitate de semn negativ"), s-a degajat încet, încet, printre teoreticieni, noțiunea de proton („particulă de electricitate de semn pozitiv"). Apoi, în 1913, Bohr a arătat că numărul atomic corespunzînd rangului pe care îl are elementul în „clasificarea periodică" (stabilită de Mendeleev încă din 1869) indică și numărul de electroni ai atomului. Deoarece atomul era neutru, trebuia să se admită, prin deducție logică, că în nucleu există tot atîția protoni, cîți electroni sateliți gravitează pe orbite în jurul acestui nucleu.

Cum se putea admite însă că un „pachet" de protoni, cu toții încărcați cu electricitate de semn pozitiv și care trebuiau deci să se respingă reciproc cu o forță invers proporțională cu pătratul distanței care îi separa (și totul părea să se petreacă ca și cînd ar fi fost foarte apropiați), puteau să formeze structura nucleară, infinit mai compactă decît restul atomului ? Pe de altă parte, după

ce masa protonului fusese aflată, se dovedea că toate nucleele, cu excepția nucleului de hidrogen care este protonul tuturor atomilor, au mase care nu corespund rezultatului pe care îl dă înmulțirea masei unui proton cu „numărul de sarcină" (numărul *Z*, sau numărul atomic). Știm astăzi că începînd cu *deuteriul*, izotopul hidrogenului care intră în compoziția apei grele, masa unui nucleu este mult mai mare decît multiplul masei protonilor care îl constituie, și am aflat că este așa fiindcă în orice nucleu, începînd cu acela al deuteriului, protonii sînt asociați cu *alți nucleoni* (adică cu alte particule nucleare), și anume cu *neutronii*, al căror nume arată că din punct de vedere electric ei sînt „fără sarcină", adică neutri.

Spre descoperirea neutronului

Cunoaștem în prezent mai multe cîmpuri de forță din care decurg structurile universului, începînd de la microcosm, pînă la macrocosm. Principalele cîmpuri, ale căror legi le cunoaștem în prezent destul de bine, sînt *cîmpul gravitațional, cîmpul electromagnetic* și *cîmpul nuclear*, la care se adaugă *cîmpul interacțiunilor slabe*, destul de puțin cunoscut.

Cîmpul gravitațional controlează mișcările marilor corpuri cerești și determină ceea ce noi numim gravitația. Rolul lui este cu totul neînsemnat la scara particulelor, deși nu este nul chiar de la particulă la particulă. Dirac a emis ipoteza că acest cîmp s-ar putea materializa sub forma unui *„graviton"* ipotetic care, dacă există în realitate, ar trebui să fie așa de „mic", încît dimensiunile ar constitui un obstacol aproape de netrecut pentru punerea lui în evidență. După Einstein, gravitația nu este decît un efect al deformării spațiului-timp, datorită prezenței maselor (ceea ce nu implică, poate, existența unui „graviton"). Anumiți autori cred că forța gravitațională, în virtutea căreia, conform formulei lui Newton, *„corpurile materiale se atrag direct proporțional cu masa lor și invers proporțional cu pătratul distanței dintre ele"*, nu numai că ar putea să înceteze atunci cînd atinge o anumită

dimensiune a spațiului-timp, dar chiar să-și „schimbe sensul", ceea ce ar însemna că la asemenea distanțe cosmice considerabile atracția s-ar transforma în repulsie, lucru ce ar putea explica, probabil, fenomenul derutant al recesiei galaxiilor.

Cîmpul electromagnetic acționează numai asupra particulelor încărcate, la toate nivelurile microcosmului și macrocosmului și, după cîte se pare, în completă concordanță cu legea lui Coulomb, conform căreia *„două corpuri încărcate se atrag* (dacă sînt de semn contrar) *sau se resping* (dacă sînt de același semn) *invers proporțional cu pătratul distanței care le separă"*.

Or, așa cum am văzut mai sus, un nucleu n-ar putea fi constituit decît din protoni (particule de același semn), fiindcă, în marea majoritate a cazurilor, este vorba — în stare naturală (adică făcînd abstracție de elementele radioactive) — de un edificiu cu o foarte mare stabilitate și relativ compact.

Pentru a neutraliza electricitatea pozitivă, primii teoreticieni imaginaseră prezența în nuclee a electronilor (negatoni). Această teorie a trebuit să fie părăsită, fiindcă masa electronului este practic nulă în comparație cu aceea a nucleonului (care are o masă de 1 840 de ori mai mare decît aceea a electronului), astfel că diferențele dintre masele reale și cele teoretice erau prea mari.

Adevărul a început să fie bănuit de-abia atunci cînd s-au putut determina, cu ajutorul spectrografului de masă, „greutățile" izotopilor. S-a observat anume că masele izotopilor sînt apropiate de multiplii întregi ai masei protonului. Aceasta ar fi putut să însemne că pe măsură ce un element se ridică în tabloul lui Mendeleev, el își mărește numărul protonilor din nucleu, astfel că protonii excedentari (în raport cu numărul electronilor) ar trebui să fie dublați de tot atîția negatoni.

Totuși, diferențele constatate între mase, deși reduse, arătau că această teorie rămînea foarte nesatisfăcătoare. Experiențele ulterioare, și anume cele asupra comportării statistice a nucleelor, au întărit această impresie, deși dificultatea a părut eludată atunci cînd Paul Langevin a demonstrat, în concordanță perfectă cu teoria relativității, că masa unui nucleu este întotdeauna mai

mică decît masa componentelor lui. „Defectul de masă" reprezintă *energia de legătură* care este *eliberată* în procesele de transformare nucleară.

Chiar şi în 1930, Eddington continua să mai susţină că nu există decît două feluri de „particule elementare", în afară de foton : electronul şi protonul.

La aceeaşi epocă totuşi, Frédéric şi Irène Joliot-Curie observau că o „radiaţie" neutră din punct de vedere electric, rezultată dintr-o radioactivitate indusă, putea să pună în mişcare protonii conţinuţi într-o ţintă de parafină, lucru care lăsa să se presupună că „radiaţia" avea o masă destul de importantă. Plecînd de la această constatare, Chadwick a descoperit, în 1932, că era vorba de fapt de o particulă neutră, căreia i s-a dat numele de *neutron.*

S-a putut stabili că, în comparaţie cu masa electronului, masa neutronului este de 1 838 de ori mai mare, iar cea a protonului de 1 836 de ori.

Scurt timp după această descoperire, Heisenberg a propus să se admită că nucleele sînt formate nu din protoni şi electroni, ci din protoni şi neutroni.

Vrem să stăruim asupra faptului că protonii şi neutronii sînt, în esenţă, *nucleoni* şi că diferă ca formă unii faţă de alţii. Într-adevăr, absorbind un electron negativ (un negaton), protonul se preschimbă într-un neutron ; emiţînd un electron pozitiv (un pozitron), protonul se transformă de asemenea într-un neutron, iar neutronul care emite un negaton se transformă în proton ş.a.m.d.

Aceasta nu înseamnă însă că un neutron ar fi „constituit" dintr-un proton şi dintr-un negaton.

Către noţiunea de antimaterie

Tot lui Heisenberg i se datoreşte prima ipoteză asupra transmutaţiei nucleonilor. Teoria sa despre neutronii consideraţi drept particule elementare componente ale nucleului (la fel ca şi protonii) provocase controverse violente. În procesele radioactive, fuseseră observate emisii β, care nu erau altceva decît electroni, şi fenomenul

acesta constituise un sprijin puternic al teoriei despre prezența negatonilor în nucleu. Dar dacă această teorie se prăbușea, de unde veneau radiațiile β ?

Heisenberg a enunțat atunci teza sa despre neutronul care se transformă, în decursul unor anumite procese radioactive, într-un cuplu proton-negaton. Acest din urmă electron, „creat" aparent prin dezintegrare sau, mai exact, ca efect al acestui proces, scapă în afara nucleului.

Dl. Louis de Broglie n-a șovăit să scrie [1] : *„Am văzut răspîndindu-se ideea, unanim acceptată astăzi, că nu numai nucleele sînt complexe, dar că și particulele fundamentale, considerate ca simple, se pot transforma unele în altele, astfel cum este cazul neutronului care se poate descompune în proton și electron. Rezultă deci că descoperirea neutronului, completată cu ideile lui Heisenberg, a jucat un rol important în orientarea actuală a concepțiilor noastre asupra nucleelor și particulelor fundamentale".*

În timp ce Chadwick descoperea neutronul, Blackett, Anderson și Occhialini detectau prezența în radiația cosmică a unui electron pozitiv (sau pozitron), prevăzut de teoria lui Dirac, conform căreia universul este un fel de „mare de electroni", în care fiecărei particule de materie — așa cum sîntem noi în măsură să o observăm — i-ar corespunde o *antiparticulă.*

Antiparticula s-ar distinge de particulă prin aceea că prima ar fi în raport cu cea de-a doua — pe care noi putem s-o observăm *(noi, oamenii care sîntem construiți din particule, care trăim și acționăm datorită mișcărilor lor și efectelor de forță care derivă din aceste mișcări)* printr-o *stare de energie negativă.* Noțiunea diferă de sarcina electrică, deși antiparticula are întotdeauna o sarcină opusă și un moment magnetic opus acelora ale particulei.

O excelentă prezentare a lucrărilor autorului mecanicii ondulatorii relativiste o găsim în tratatul despre antimaterie al lui Maurice Duquesne [2]. Vom încerca să rezumăm din acest tratat ceea ce este esențial în legătură cu noțiunea de „energie negativă".

---

[1] *Sur les sentiers de la science,* p. 324.

[2] *Matière et antimatière,* cap. VI, p. 62.

În formula lui Einstein $E=m_0c^2$. E este energia „condensată", ca să zicem așa, în fragmentul de materie studiat, pe care îl numim particulă ; m_0c^2 este masa de repaus (m zero) a acestei particule, înmulțită cu pătratul vitezei luminii (c) în vid. Nimic nu interzice însă ca această formulă să fie precedată de semnele convenționale + sau —, ceea ce înseamnă că în raport cu „cealaltă", una din energii este „anti" [1].

Și Dirac a elaborat cunoscuta sa *teorie a lacunelor*, despre care a oferit o excelentă schiță de popularizare.

Să ne imaginăm o cutie, spunea Dirac, pe fundul căreia putem alinia exact 100 de bile minuscule, dar atît de mici încît nu există practic „vid" între ele și, ca atare, este greu să se atingă una de alta (așa-zisul fund continuu al cutiei, analog „mării lui Dirac"). Dacă avem apoi 50 de bile suplimentare în cutie, ele vor aluneca peste celelalte, iar observatorul le va putea *vedea* (dar în aceeași măsură în care „vedem" particulele proton și electron).

Cele 100 de bile de pe fundul cutiei pot fi asimilate particulelor „cu energie negativă", la care E, energia, este mai mică decît m_0c^2 ; dimpotrivă, cele 50 de bile excedentare sînt asimilabile cu particulele „cu energie pozitivă" (protonii și electronii „noștri"), la care E este mai mare decît m_0c^2.

Dacă o anumită energie exterioară face să sară o bilă din fundul cutiei la nivelul superior, vom observa o „lacună" pe „fundul continuu", pînă atunci invizibil : această lacună poate fi considerată, în raport cu bilele, drept contrariul lor, după cum o cavitate este contrariul unei proeminențe. Ar rezulta de aici ideea că drept corolar al particulelor din „lumea noastră" ar trebui să existe antiparticule, care să le fie contrarii din punct de vedere electromagnetic.

Totuși, „lacuna" va fi „astupată" repede de una din cele 51 de bile suplimentare (50 de bile originare, plus

---

[1] Dacă se ia în considerație și impulsul p al particulei, avem relația $E^2 = p^2c^2 + m_0^2c^4$, care are două rădăcini :

$$E = \pm \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4}\,.$$

Punînd $p=0$, rezultă $E=\pm m_0c^2$ (E pozitiv sau negativ, în raport cu „vidul" lui Dirac).

bila venită de la nivelul inferior), astfel că vom observa că au dispărut : a) lacuna *considerată ca o bilă de semn contrar ;* b) cea de-a 51-a bilă (care nu trebuie să fie neapărat chiar aceea care a sărit de la fund, la nivelul superior). În felul acesta se poate explica, pe de o parte, de ce în marile acceleratoare nu este „posibil" să se *creeze* decît perechi de particule (din care una este antiparticula celeilalte) și, pe de altă parte, de ce antiparticula are *o viață așa de scurtă* și de ce dispariția ei antrenează, în paralel, anihilarea unei particule (după cum *plus* adunat cu *minus* dă zero). Procesul dă loc unei eliberări de energie E, egală cu $2m_0c^2$, adică cu suma energiilor celor două particule.

Vom reaminti, cu titlu informativ, că este necesară o energie de peste 1 milion de electronvolți pentru a „crea" o pereche pozitron-negaton și o energie de peste 6 miliarde de electronvolți pentru a crea o pereche nucleon-antinucleon. Din această cauză nu ne mai putem mira că studiul „particulelor stranii", despre care vom vorbi ceva mai departe, necesită acceleratoare din ce în ce mai puternice.

Misteriosul neutrino

Puțin timp după descoperirea radioelementelor artificiale de către Joliot-Curie, au putut fi observate procese de radioactivitate β^+ (emisii de electroni pozitivi sau pozitroni, în locul electronilor „clasici", adică al electronilor negativi sau negatoni). Heisenberg a arătat că fenomenul se datorește faptului că în radioactivitatea artificială protonul nuclear se transformă, în cadrul transmutațiilor intervenite, într-o pereche neutron-pozitron, un nou exemplu de transformare nucleonică.

Din studiul diferitelor forme ale radioactivității β au reieșit anumite anomalii. Faptul că electronii emiși prezentau un spectru continuu de energie părea în opoziție

cu principiul conservării energiei. Se dovedise, cu toate acestea, că energia se conservă în cazul cînd electronul este emis cu maximum de energie (corespunzînd limitei superioare a spectrului energiilor β).

Aceasta l-a făcut pe Pauli să exprime părerea că atunci cînd o particulă este emisă cu o energie inferioară limitei spectrului continuu, fracțiunea de energie pe care nucleul radioactiv o conținea înainte de dezintegrarea lui — energie care pare că dispare în momentul transmutației — este „transportată" de un corpuscul emis în exterior, practic de nedetectat nu numai din cauza „micimii" lui, ci mai ales din cauza caracterului său de neutralitate electrică. Este vorba de neutrino, a cărui existență este astăzi dovedită.

Ca orișice particulă, neutrinul se prezintă sub două forme, din care una este antiparticula celeilalte. Antineutrinul, copie perfectă a neutrinului, de masă practic nulă în stare de repaus (fiindcă el nu există decît la viteza luminii, la care această masă continuă să rămînă extrem de mică) se distinge de originalul lui printr-un moment magnetic invers. Neutrinul este permanent în mișcare, cu o viteză egală cu aceea a luminii, în raport cu indiferent ce observator.

Descoperirea cîmpului nuclear

Descoperirea neutronului nu rezolvă problema coeziunii nucleonilor. Ea ne spune cel mult că, în nucleele foarte grele, prezența unui mare număr de particule electric neutre reduce, într-o măsură apreciabilă, antagonismul reciproc al protonilor, între care aceste particule neutre par că se intercalează.

Și totuși, atunci cînd (după ce existența neutronului a fost pusă în evidență) s-au început noi cercetări, oamenii de știință erau convinși că, într-un fel sau altul, neutronii jucau rolul „unui ciment".

Lucrurile nu stau de loc așa. Vom vedea din cele ce urmează că neutronul (datorită unor procese extrem de complexe, întrevăzute teoretic încă din 1935 de fizicianul

japonez Hideki Yukawa) joacă de fapt rolul unei particule de echilibrare.

Două probleme erau considerate ca predominante pe vremea aceea : trebuia anihilată în primul rînd repulsia electrostatică dintre protoni şi, în al doilea rînd, era necesar să se descopere un *factor de legătură,* care să asigure stabilitatea edificiului nuclear. Yukawa nu a ezitat să afirme că există un cîmp de forţă a cărui acţiune era strict limitată la nucleu, ceea ce însemna că raza de acţiune a acestui cîmp nu depăşea o distanţă de ordinul a 10^{-13} cm.

Ecuaţiile undelor din mecanica ondulatorie folosite sub formă relativistă pot furniza indicaţii privitoare la forma matematică a unui cîmp capabil să realizeze aceste condiţii, iar Yukawa sugera că pentru a „materializa" acest cîmp, trebuia să existe o particulă (după cum există o particulă, fotonul, care materializează cîmpul electromagnetic) a cărei masă trebuia să fie, după calculele sale, de cel puţin 200 de ori mai mare decît aceea a electronului, fără să depăşească însă de 300 de ori această masă.

Primii *mezoni* au fost descoperiţi de fapt în radiaţia cosmică, de o echipă britanică de cercetători (Mott, Powell, Occhialini, Lattes, Muirhead, din Bristol). Masa lor era 238. Li se dădu denumirea de mezoni μ (miu, din alfabetul grec). Însă *miuonii,* aşa cum au fost numiţi mai tîrziu, nu sînt decît „particule de cascadă". Ei sînt rezultatul dezintegrării mezonului π, care este adevăratul reprezentant al *cîmpului nuclear.* Viaţa miuonilor este extrem de scurtă (2,2 milionimi de secundă, în medie) şi ei se dezintegrează, la rîndul lor, într-un electron (negaton sau pozitron, după sarcina mezonului π original), plus doi neutrini. Firește că dacă apare un pozitron, el se anihilează prin întîlnirea cu un electron (negaton) din mediul ambiant, dînd fotoni.

Mezonul π atinge masa 274 atunci cînd este încărcat cu electricitate pozitivă sau negativă, şi masa 266 atunci cînd este neutru.

Mezonul π neutru este o cuantă a cîmpului nuclear care acţionează între protoni şi protoni sau între neutroni şi neutroni, iar mezonii π^+ sau π^- sînt cuante ale cîmpu-

lui nuclear care acționează între protoni și neutroni sau invers.

Cîmpul nuclear este creat prin schimburile neîncetate de mezoni dintre nucleoni, după cum schimburile neîncetate de fotoni dintre particulele încărcate creează cîmpul electromagnetic. Cel puțin, aceasta este interpretarea actuală a acestor cîmpuri.

Noțiunea de cîmp

După definiția clasică, *cîmpul este „o mărime fizică prin care se exprimă acțiunile la distanță"*. Se consideră totuși că există un schimb neîncetat de cuante de energie drept rezultat al interacțiunilor specifice din cîmpuri.

În decursul unor anumite transformări tipic nucleare, se produce o emisie de electroni (pozitroni sau negatoni), plus o emisie de neutrini, care se înrudesc din multe puncte de vedere cu fotonii. Diferența dintre neutrini și fotoni, spune Heisenberg, constă mai ales în faptul că momentul cinetic al neutrinilor este $\frac{\hbar}{2}$, în timp ce momentul cinetic al fotonilor este 0, sau h (*h* se citește „haș barat" $= \frac{h}{2\pi}$).

„Este destul de firesc — comentează el — *să admitem că emisia acestor particule este legată de cîmpul forțelor nucleare, așa după cum legătura reciprocă care există între neutroni și protoni este făcută de către electroni, pozitroni și neutrini. Atunci cînd atribuim, în modul acesta anumite particule unui cîmp, nu trebuie să înțelegem prin aceasta că cîmpul este constituit din aceste particule. Expresia „constituit din" înșală întotdeauna într-o oarecare măsură, fiindcă ne face să presupunem că cîmpul ar putea fi înlocuit prin aceste particule. În fizică însă, cîmpul și particulele* (indiferent de ce cîmp ar fi vorba) *nu sînt decît două aspecte ale aceleiași realități.*

Modul cel mai exact de a ne exprima este următorul. Există un cîmp nuclear, iar acest cîmp nuclear ne apare, într-o atare stare staționară, ca un cîmp care scade continuu și foarte rapid cu distanța ; în procesele nestaționare, cîmpul nuclear ne apare ca o radiație de unde. Această radiație va fi, după metodele de observație folosite, o undă sau un flux de particule. După tipul experienței, radiația se va manifesta sub o formă sau alta" [1].

Să ne folosim, continuă în rezumat Heisenberg, de exemplul familiar al cîmpului electric pentru a descrie în două limbaje diferite, acela al undelor și acela al particulelor, forța pe care un electron o exercită asupra altuia. Putem spune mai întîi că electronul produce în jurul lui un cîmp electric, care se propagă ascultînd de ecuațiile lui Maxwell și că acest cîmp electric acționează asupra celui de-al doilea electron : exercită o forță asupra acestui electron (și invers). În cealaltă reprezentare vom spune : electronul produce o particulă, un foton, și acesta din urmă este absorbit de un alt electron. Într-un caz vom vorbi despre „emisia unui cîmp", iar în celălalt de „emisia unei particule" ; în primul caz despre „acțiunea cîmpului asupra particulei", iar în al doilea despre „absorbția fotonului de către particulă".

Să presupunem următoarea schemă :

a) *imagine ondulatorie* — electronul produce cîmpul ; cîmpul acționează asupra celei de-a doua particule ;

b) *imagine corpusculară* — electronul emite un foton ; fotonul este absorbit de cel de-al doilea electron.

În ambele cazuri, este vorba de descrierea unuia și aceluiași fenomen. Primul mod de descriere este familiar tuturor acelora care trebuie să se ocupe cu cîmpul electric. Din contră, cu cel de-al doilea mod de descriere nu sîntem deprinși, fiindcă în tehnică și în fizica macroscopică nu ne-ar fi de nici un folos să ne reprezentăm cîmpul cu ajutorul fotonilor.

În fizica nucleară însă (sau numai în cea atomică) este cîteodată mai comod — iar cînd e vorba de radiația atomului, adesea mai ușor — să vorbim de fotoni, în loc de unde sferice.

---

[1] *La physique du noyau atomique*, p. 104.

„Vom folosi acum — spune Heisenberg — *exact aceeași formulă pentru forțele care se exercită între neutroni și protoni. Putem începe prin a spune : neutronul produce un cîmp nuclear și acest cîmp acționează asupra unui proton* (și invers). *Aceasta înseamnă a ne exprima în limbajul undelor. În limbajul particulelor vom spune : neutronul emite particule și aceste particule sînt absorbite de proton"* [1].

Prin analogie cu schema precedentă, avem acum :

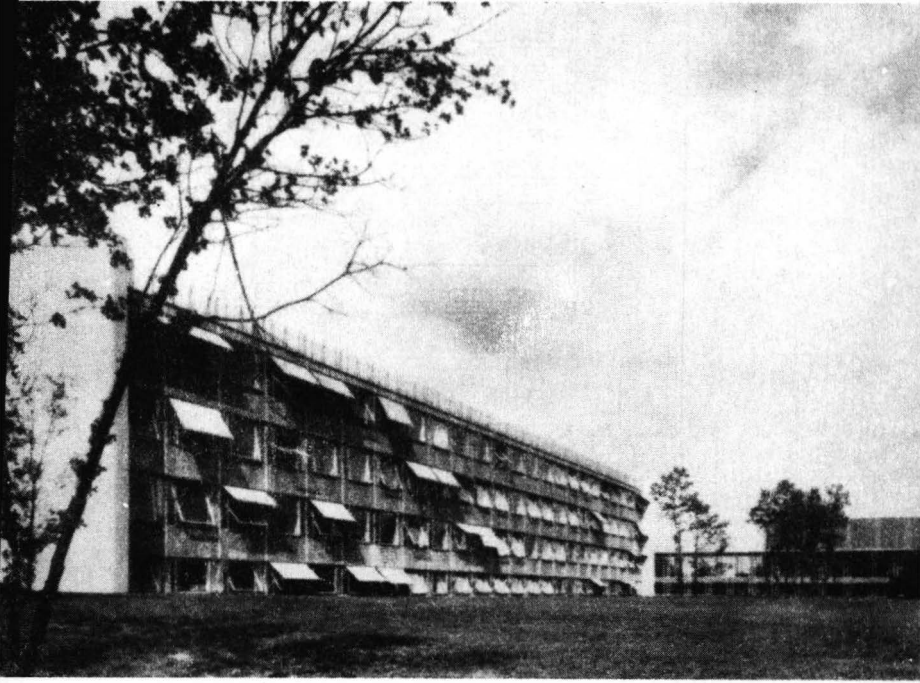
a) *imagine ondulatorie* — neutronul produce un cîmp ; cîmpul acționează asupra protonului ;

b) *imagine corpusculară* — neutronul emite un electron plus un neutrino ; electronul și neutrinul sînt absorbiți de către proton.

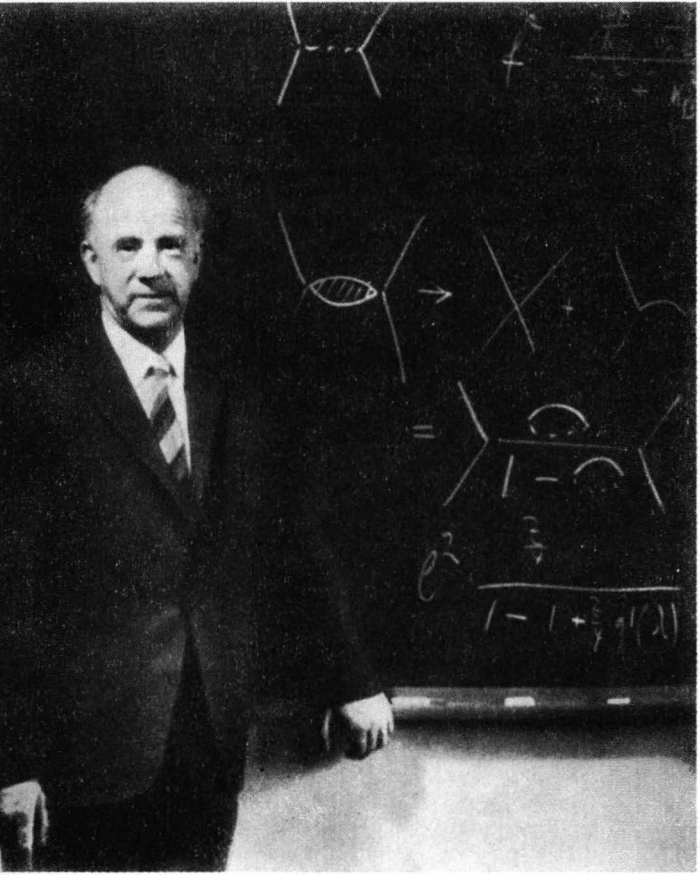
„Dacă interpretăm în felul acesta forța dintre neutron și proton, vedem că acțiunea acestei forțe este legată de un schimb de sarcini. Atunci cînd un neutron emite un electron și un neutrino pentru a-și exercita forța, el schimbă sarcina și se transformă în proton. Și invers : un proton care absoarbe un electron și un neutrino se transformă în neutron. Se poate produce, de altminteri, o transformare absolut analogă, dacă protonul emite un pozitron și un neutrino, care sînt absorbite de un neutron. Forțele nucleare sînt legate deci de un schimb de particule încărcate și de aceea forțele de acest tip sînt denumite forțe de schimb. Ele sînt de un gen cu totul special și sînt caracterizate prin faptul că acțiunea lor este legată de un schimb, de o schimbare de rol între cei doi parteneri. Din acest punct de vedere ele se deosebesc net de forțele electrice, părînd însă să aibă o înrudire strînsă cu forțele chimice (forțele de electrovalență). *Teoria cuantică a arătat clar că forțele chimice sînt, în general, forțe de schimb. Și în cazul lor se produce un schimb de sarcini"* [2].

Molecula de hidrogen, de exemplu, este formată din doi atomi ai căror electroni reciproci nu mai pot fi atribuiți — atunci cînd fuziunea s-a făcut — unuia sau celuilalt din acești atomi ; electronii conlucrează ca să

[1] *La physique du noyau atomique*, p. 105.
[2] *Ibidem*, p. 106.



5. Institutul „Max Planck"



6. Profesorul Werner Heisenberg.

asigure stabilitatea moleculei. Energia de schimb are drept origine „principiul indiscernabilității" electronilor în sistemul dublu H^2 (fiecare electron al unui atom este comun celuilalt atom).

„Toate acestea — scrie Heisenberg — *nu sînt totuși simple. Dacă analogia dintre forțele nucleare și forțele electrice ar fi perfect valabilă, ar trebui să putem să facem previziuni teoretice asupra posibilității unei dezintegrări β exact în modul folosit pentru calculul probabilității emisiei fotonilor de către învelișul electronic. Pentru învelișul electronic în stare excitată, există în fiecare moment o probabilitate dată de emisie a fotonului. Cuvintele „probabilitate dată" au următoarea semnificație. În limbajul ondulatoriu : mișcarea continuă a electronului produce o undă care se propagă în spațiu. În limbaj de particule : există în fiecare moment o probabilitate dată pentru emisia unui foton. Aceste două reprezentări sînt legate prin faptul că probabilitatea este dată de intensitatea undei emise. Cu cît unda este mai intensă, cu atît mai mare este probabilitatea și cu atît mai scurtă existența în stare excitată ; existența medie a acestei stări excitate depinde deci de amplitudinea oscilației electronului. Viața medie a unei dezintegrări ar trebui să depindă, prin analogie, de intensitatea radiației ondulatorii emise de nucleu. Dacă se face însă calculul, se observă că mediile rezultate sînt mult mai scurte decît cele date de observație"* [1].

Acest dezacord dintre teorie și practică a condus direct la ipoteza mezonilor.

Cîteva reguli

Interacțiunea dintre doi nucleoni depinde nu numai de distanța lor reciprocă, ci și de vitezele lor unul față de altul (sau unii față de alții), precum și de direcția relativă și de rotația lor.

---

[1] *La physique du noyau atomique*, p. 108.

Această interacțiune se face pe baza cîtorva reguli stricte. Între doi protoni din cadrul aceluiași nucleu, cîmpul electromagnetic va interacționa în sensul că, în conformitate cu legea lui Coulomb, protonii se vor respinge cu atît mai puternic, cu cît vor fi mai apropiați unul de altul. Faptul că nu se îndepărtează cu totul unul de altul se explică prin aceea că atracția exercitată de cîmpurile lor nucleare este mai puternică decît respingerea exercitată de cîmpul electromagnetic. Acest fenomen nu se produce însă, așa cum am văzut mai sus, decît între limite foarte reduse (la distanțe de 1 fermi sau 10^{-13} cm). La o distanță reciprocă de una sau două raze nucleare, protonii se atrag de 40 de ori mai tare decît se resping. Dacă însă distanța dintre ei crește numai de patru ori, forțele nucleare de atracție și forțele electromagnetice de respingere se echilibrează.

După unii teoreticieni, la o distanță mai mică de $0{,}5 \cdot 10^{-13}$ cm, cîmpul nuclear ar deveni brusc repulsiv, așa cum se întîmplă cu cîmpul electromagnetic în ceea ce-i privește pe protoni ; repulsia cîmpului nuclear s-ar aplica însă și neutronilor.

Este ușor de înțeles că dacă cîmpul nuclear acționează între doi neutroni sau între un neutron și un proton, fără ca repulsia electromagnetică să intervină și ea, forța cîmpului nuclear este cu atît mai intensă. Nucleul nu-i însă un „amalgam", ci o „structură în vibrație". Dacă cîmpul nuclear ar fi cu atît mai intens, cu cît nucleonii s-ar apropia mai mult, aceștia s-ar „lipi" literalmente unul de altul, fiindcă, începînd cu hidrogenul, în limitele nucleului există întotdeauna cel puțin un neutron de fiecare proton. Deoarece această „lipire" nu se produce, trebuie să admitem existența fenomenului repulsiv despre care s-a vorbit mai sus.

Modelul „picăturii de lichid"

Îi datorăm lui Heisenberg mai multe teorii asupra structurii nucleelor, structură strîns legată de repartiția neutronilor în nuclee.

Sîntem în posesia a două rezultate experimentale, spune, în rezumat, Heisenberg : egalitatea energiei de legătură pe particulă, pentru toate nucleele, şi „proporţionalitatea" aproximativă dintre volumul nucleului şi numărul particulelor. Se poate conchide că protonii şi neutronii sînt repartizaţi în nucleu aproape peste tot cu aceeaşi densitate. Dacă lucrurile s-ar petrece altfel, energiile de legătură ar fi diferite în diversele părţi ale nucleului, precum şi de la un nucleu la altul. „Proporţionalitatea" dintre volum şi numărul particulelor mai arată că această densitate este aceeaşi pentru toate nucleele, cu excepţia primelor elemente din tabloul periodic, adică a celor mai uşoare. Putem vorbi deci de o materie nucleară, făcută dintr-un amestec de protoni şi de neutroni şi avînd pretutindeni aceeaşi densitate. Singura diferenţă care intervine pînă la un anumit grad de la un atom la alt atom, este raportul dintre numărul neutronilor şi numărul protonilor.

Din toate acestea ar rezulta, după Heisenberg, o asemănare între un nucleu atomic şi o picătură de lichid. La fel după cum se pot forma, plecînd de la molecule de apă, picături de mărimi diferite, tot aşa din protoni şi neutroni s-ar putea forma „picături de materie nucleară", de mărimi diverse. Aceasta înseamnă că există *nuclee atomice diferite.*

Modelul picăturii de lichid se bazează, în esenţă, pe faptul că, în nucleu, nucleonii aflaţi la periferia sistemului — ca şi moleculele aflate la periferia celuilalt sistem care este picătura de lichid — nu sînt legaţi decît parţial de ceilalţi nucleoni. Rezultă că — aşa cum se întîmplă şi cu moleculele care constituie picătura lichidă — legătura lor este *a priori* mai puţin puternică decît aceea a nucleonilor din interiorul nucleului.

Tensiunea superficială a unei picături de apă, de exemplu, se datoreşte acestui fenomen. Anumite considerente energetice, care se reîntîlnesc atunci cînd este vorba de nucleu, permit să se explice, pe de altă parte, de ce picătura ia o formă aproximativ sferică sub influenţa tensiunii superficiale : energia de suprafaţă a unei picături este proporţională cu mărimea acestei suprafeţe şi tinde, prin urmare, să-i reducă la maximum dimen-

siunile. Ar trebui admisă şi pentru nuclee existenţa unei tensiuni superficiale analoge. Datorită energiei de legătură mai slabe a particulelor de la suprafaţă, energia totală de legătură, ca şi energia de legătură medie pe particulă, va fi micşorată. Ca şi la lichide, tensiunea superficială determină o formă sferică a nucleelor.

Există cu toate acestea o diferenţă esenţială între „materia nucleară" şi un lichid. Lichidul este constituit din molecule neutre, în timp ce nucleul conţine, pe lîngă neutroni, protoni purtători ai unei sarcini electrice. *„Trebuie deci* — conchide Heisenberg — *să comparăm nucleele cu nişte picături lichide conţinînd molecule încărcate, între care s-ar exercita forţe repulsive"* [1].

În aceste condiţii, energia nucleelor ar fi, în esenţă, suma a trei termeni :

a) forţele nucleare (ponderea cea mai mare) ;
b) modificarea acestor forţe de către tensiunea superficială ;
c) respingerea electrostatică.

Cu toate că modelul numit al „picăturii de lichid" este — în numeroase cazuri — foarte comod pentru explicarea anumitor proprietăţi ale nucleului şi a anumitor aspecte ale structurii sale, el nu pare totuşi să corespundă realităţii, şi aceasta datorită mecanicii cuantice însăşi.

Este mai ales îndoielnic ca suprafaţa unui nucleu să fie tot aşa de net desenată ca şi suprafaţa unei picături de lichid. Aceasta înseamnă că există o probabilitate redusă ca densitatea maximă repartizată uniform în întregul volum al „sferei" presupuse (prin analogie cu sfera care reprezintă o picătură de lichid) să cadă brusc la zero, atunci cînd această limită este depăşită. Teoria cuantică arată, din contră, că densitatea materiei nucleare trebuie să scadă pînă la zero, începînd de la o anumită valoare constantă, numai pe o anumită pătură superficială ;

Mai există şi alte teorii : sferă cu contururi difuze în care densitatea materiei scade progresiv de la centru spre suprafaţă ; masă şi sarcină distribuite sub formă de straturi concentrice (nucleu comparat cu o ceapă) etc.

[1] *La physique du noyau atomique*, p. 86.

Relații între protoni și neutroni

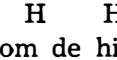
Nucleul cel mai simplu este acela al atomului de hidrogen, fiindcă nu conține decît un singur nucleon, care este protonul tuturor atomilor. Izotopii hidrogenului conțin un neutron (deuteriul) sau doi neutroni (tritiul). Dacă ne gîndim la acest fapt și dacă ținem seama că experiența arată că deuteriul este stabil, în timp ce tritiul este radioactiv, nu putem decît să fim surprinși *a priori* că trei cîmpuri nucleare și o respingere electrostatică nulă nu determină (în cazul tritiului) o structură de o stabilitate maximă. Mai observăm, pe de altă parte, că în timp ce numărul protonilor crește regulat cu o unitate, raportul un neutron pentru un proton (fără să ținem însă seama de izotopi) este departe de a se menține dincolo de oxigen. Repartiția neutronilor în nuclee nu pare să asculte de nici o regulă, afară de aceea, totuși, că raportul dintre numărul neutronilor și numărul protonilor crește o dată cu masa elementelor. În timp ce în nucleul atomului de sodiu, de exemplu, există 12 neutroni la 11 protoni, vom găsi 146 de neutroni pentru numai 92 de protoni în nucleul atomului de uraniu.

Și totuși, deși are un număr așa de mare de neutroni, uraniul este radioactiv...

Stabilitatea unui nucleu se datorește, în esență, mai multor factori, care au făcut obiectul unor studii complexe. Heisenberg a arătat că, exceptînd cîteva nuclee ușoare, nucleele care conțin numere perechi de neutroni și de protoni (*nuclee pare-pare*) sînt foarte stabile, în timp ce nucleele care conțin numere impare de neutroni și de protoni sînt, din contră, cele mai instabile (nuclee *impare-impare*). Nucleele *pare-impare* au o stabilitate mijlocie.

Ținînd seama și de izotopi, avem, în stare naturală, numai 4 elemente cu nuclee impare-impare, pentru 108 nuclee pare-impare și 159 de nuclee pare-pare.

Ce raționamente l-au condus pe Heisenberg la aceste concluzii ? Există, după el, o „saturație a forțelor nucleare", care prezintă o analogie cu saturația forțelor de valență în legăturile moleculare.

Într-adevăr, așa cum ne învață chimia, forțele de valență, spre deosebire de forțele electrice, sînt saturate. De exemplu, în molecula de apă H–O–H (sau H_2O), cele două valențe ale atomului de oxigen (6 electroni în pătura cuantică cea mai exterioară — saturație 8) sînt saturate de către cei doi atomi de hidrogen, care cedează oxigenului unicul lor electron periferic pentru ca să formeze molecula clasică  în „accent circumflex", astfel că nici un alt atom de hidrogen nu se mai poate fixa.

Forțele nucleare, spune în rezumat Heisenberg, au un caracter de saturație foarte asemănător cu acela al forțelor de valență. Un neutron poate fixa cel mult doi protoni, iar un proton cel mult doi neutroni. Dacă am vrea să reprezentăm acest lucru prin linii de valență, ar trebui să dăm protonului două linii îndreptate spre neutroni (tot așa cum în bioxidul de carbon atomul de carbon fixează doi atomi de oxigen : O = C = O) și neutronului două linii îndreptate spre protoni. Operația nu este cu totul exactă, fiindcă se neglijează forțele care se exercită între doi protoni sau între doi neutroni. Ea dă însă, într-o primă aproximație, o margine destul de corectă a lucrurilor.

Din proprietatea de saturație a forțelor nucleare s-ar putea trage, ne asigură Heisenberg, consecințe importante privitoare la stabilitatea nucleelor : numărul 2 și toate numerele pare vor juca în structura edificiului atomic un rol privilegiat. Dacă nucleele cu număr par de protoni și cu număr par de neutroni sînt deosebit de stabile, aceasta este din cauză că toate valențele sînt folosite. „Cazul acesta — precizează el — este, desigur, mai favorabil din punct de vedere energetic decît acelea în care din cauză că un număr de particule este impar — și cu atît mai mult cînd ambele numere sînt impare — o valență (proton sau neutron, sau proton și neutron în cazul impar-impar) rămîne neutilizată".

Mai există şi o altă cauză care face ca numărul 2 să fie un număr „privilegiat" pentru nuclee : principiul de excluziune al lui Pauli.

Principiul de excluziune al lui Pauli enunţă, în linii mari, că într-o stare staţionară dată nu este loc decît pentru o singură particulă. Atunci cînd ne referim la învelişul electronic al atomilor, o stare staţionară înseamnă o orbită dată a electronului. În limbaj ondulatoriu, aceasta înseamnă, de asemenea, o vibraţie staţionară dată şi o direcţie dată a spinului. Referindu-ne în continuare la electroni, dacă ţinem seama de faptul că momentul cinetic al particulei (spinul) poate fi fie pozitiv, fie negativ, adică orientat într-un sens sau în sensul opus, trebuie să admitem, împreună cu Pauli, că pe o aceeaşi orbită staţionară a învelişului electronic nu pot exista mai mult de doi electroni avînd spinuri opuse.

Acelaşi raţionament este valabil şi pentru nucleoni. Nucleonii au şi ei spin, iar într-un nucleu nu pot exista pe fiecare orbită staţionară mai mult de doi neutroni sau de doi protoni (ale căror spinuri sînt opuse). Concluzia lui Heisenberg se aplică din nou : situaţia cea mai favorabilă din punct de vedere energetic se prezintă atunci cînd posibilităţile oferite sînt folosite la maximum, aşa cum este cazul nucleelor cu număr par-par.

Transmutaţiile nucleonilor

Îi revine lui Heisenberg meritul de a fi înlăturat obiecţia serioasă care a fost făcută după descoperirea neutronului în legătură cu emisiile adevărate sau aparente de electroni ale nucleelor. După cum vă reamintiţi, se punea întrebarea : de unde vine emisia β dacă, înainte de dezintegrare, nucleul radioactiv nu conţine electroni ?

Heisenberg a arătat că emisiile β sînt rezultatul unei transmutaţii, ca să-i spunem aşa „internă", spre deosebire de transmutaţia prin radioactivitate α, în care nucleul atomului pierde efectiv doi protoni şi doi neutroni sub forma unui nucleu de heliu (helion).

Atunci cînd o particulă α părăseşte un nucleu, explică el în rezumat, duce cu ea nu numai masa, ci şi sarcina

sa. Nucleul pierde, firește, și această masă și această sarcină : numărul său de masă scade cu patru unități, iar numărul de sarcină cu două unități.

O particulă β are o masă cu totul neînsemnată, care, scăpînd, nu modifică aproape de loc numărul de masă al nucleului. Din contră, particula are întotdeauna o sarcină, fiindcă este vorba de un electron. Rezultă că dacă numărul de masă nu este afectat de emisia β, nu se întîmplă același lucru și cu numărul de sarcină. Dacă se emite o particulă β (adică de fapt un electron din lumea noastră sensibilă sau un negaton (e^-), nucleul se îmbogățește cu o sarcină pozitivă, astfel că atomul trece în căsuța care urmează imediat după aceea pe care o ocupa mai înainte în *tabloul lui Mendeleev*. Din contră, atomul va da înapoi cu o căsuță, dacă printr-un proces β^+, adică prin emisia unui electron pozitiv sau pozitron (e^+), el pierde efectiv o sarcină.

Experiența arată că neutronul se poate transforma în proton, emițînd un electron (e^-), plus un neutrino, în timp ce protonul se poate preschimba în neutron, prin emisia unui pozitron (e^+), plus un neutrino.

Heisenberg a atras în mod special atenția că aceasta nu înseamnă că un neutron *este* $1p + 1e^- + 1\nu$ (simbolul unui neutrino), ci numai că, referindu-ne la același exemplu, radioactivitatea β trebuie să se scrie $n = 1p + 1e + 1\nu$.

În realitate, procesele radioactive sînt rezultatele complexe ale stabilizării elementelor. În radioactivitatea naturală a uraniului 238 vedem cum elementul radioactiv se transformă, după o cascadă de transmutații, în plumb stabil (P 206). Prima etapă a acestor transmutații este o emisie α din care se naște toriu radioactiv, iar penultima este o transmutație, prin radioactivitate β, a bismutului radioactiv, provenit din radiu, în poloniu.

Radioactivitățile α sau β și α și β (care sînt cele mai numeroase) sînt însoțite întotdeauna de o a treia formă de radioactivitate, și anume de emisia radiațiilor γ, care reprezintă energie „pură" ; un nucleu poate, de asemenea, să nu dea însă loc decît unei radioactivități α.

Trebuie să mai subliniem, pentru a termina acest paragraf, că, în anumite condiții energetice, un nucleu

poate captura un electron din pătura sa electronică cea mai internă. Rezultatul va fi un proces radioactiv avînd drept origine dispariţia electronului, a cărui sarcină se va adăuga unui proton, care se va transforma în neutron ; va avea loc, prin urmare, o transmutaţie care va retrograda atomul cu o căsuţă în tabloul lui Mendeleev.

Mezoni grei şi „particule stranii"

Oricît de complexă ar putea părea astăzi fizica modernă (fără să excludem de loc interpretarea ei probabilistă) părea oarecum „simplă" acum cîţiva ani, înainte de descoperirea — mai întîi în radiaţia cosmică şi apoi drept rezultat al interacţiunilor de mare energie din acceleratoarele uriaşe de particule — a unor „particule care nu-şi găsesc locul" în reprezentările noastre actuale, fie ele numai teoretice.

Acesta a fost, în primul rînd, cazul mezonilor *grei*, denumiţi K, ale căror mase sînt aproape egale cu 970 de mase electronice. Au apărut apoi *hiperonii* Csi, Sigma, Lambda, a căror listă n-a fost, desigur, încă închisă, cu mase superioare celor ale nucleonilor :

$$(\Xi : 2600 ; \Sigma : 2340 ; \Lambda : 2200).$$

Toate aceste particule au, sau ar trebui să aibă sarcini pozitive sau negative, sau să fie neutre. Toate iau deci, la fel ca celelalte particule, forma „materie" (spunem „cu energie pozitivă") sau forma „antimaterie" („cu energie negativă") şi ele pun probleme insolubile deocamdată ; din această cauză sînt numite adesea „particule stranii".

După dl. Louis de Broglie, mecanica cuantică ar fi responsabilă — cel puţin în parte — de imposibilitatea în care se află fizicienii de a elabora, în situaţia actuală, o teorie coerentă care să încorporeze, pentru a le explica, aceste particule cu viaţa întotdeauna foarte scurtă şi

„fără nici un uz" în reprezentările noastre clasice. El scrie[1] :

„Unul din motivele care face, la ora actuală, deosebit de dificilă elaborarea unei teorii generale a particulelor, care să permită justificarea clasificării şi prevederea proprietăţilor acestor particule, este, după cum mi se pare mie, orientarea pe care a luat-o de aproape treizeci de ani microfizica cuantică, orientare care a făcut-o să nege localizarea permanentă a particulelor în spaţiu şi, în consecinţă, să nege posibilitatea de a şi le reprezenta ca obiecte deplasîndu-se în spaţiu în decursul timpului.

Adoptînd această poziţie, fizica teoretică a renunţat să-şi facă o «imagine» a particulelor şi să le atribuie o «structură», fiindcă a atribui o structură unui lucru, înseamnă în mod necesar, a distinge în el părţi care au în spaţiu anumite poziţii relative unele în raport cu celelalte.

Închistaţi astfel în formalismul «mecanicii cuantice», cea mai mare parte a teoreticienilor care s-au ocupat de problema particulelor s-au lăsat conduşi fie numai de rezultatele experimentale, fie numai de analogii abstracte. Pentru a caracteriza particulele, au fost obligaţi să introducă, pe lîngă noţiunile clasice de masă, de sarcină electrică şi de spin, cunoscute mai dinainte, noţiunile noi de «spin izotopic», de «număr barionic», de «hipersarcină» şi de «număr de stranietate».

Aceste diverse caracteristici noi ale particulelor au fost introduse treptat, într-un mod empiric şi, ca să spunem aşa, sub presiunea experienţei, iar introducerea a fost făcută sub formă de postulate, în aparenţă arbitrare, fără ca noilor mărimi să li se poată atribui o semnificaţie fizică concretă. Desigur că o bună parte a rezultatelor furnizate de aceste încercări teoretice foarte formale au o valoare de netăgăduit şi că ele vor trebui regăsite, mai mult sau mai puţin adaptate, în reinterpretările viitoare. Sub forma care li se dă de obicei însă semnificaţia lor profundă rămîne enigmatică.

---

[1] *Sur les sentiers de la science*, p. 331.

De altminteri, experienţele recente par să demonstreze din ce în ce mai accentuat că particulele au o structură şi că interacţiunile lor nu pot fi explicate dacă le reducem doar la nişte centre de forţă punctiforme. Or, [...] nu mi se pare de loc posibil să restabilim ideea de structură internă a particulelor, fără să revenim la ideea că particula este un obiect localizat în spaţiu...".

Despre noţiunile de paritate şi de elicitate

Heinsenberg nu a neglijat contribuţia celor mai recente lucrări, care lasă să se creadă că particula are efectiv „o structură", fapt care va conduce poate într-o zi la ideea că particula însăşi este „un sistem de particule". „Realitatea" este însă, desigur, mai greu de înţeles, fiindcă, ne întrebăm, cum am putea să ne imaginăm nişte particule a căror masă ar fi şi mai mică decît aceea a unui electron ?

Descoperirea de către un grup de fizicieni chinezi care lucrează în S.U.A. (Yang şi Lee, care au imaginat experienţa, şi d-na Woo, care a realizat-o) a neconservării parităţii în interacţiunile slabe i-a surprins şi pe ei, cum i-a surprins pe toţi specialiştii.

Legea conservării parităţii derivă din principiul conform căruia în spaţiu nu există direcţie privilegiată. Această legitate mai este denumită şi „teoria oglinzii", fiindcă ea priveşte orice sistem fizic, ale cărui proprietăţi rămîn neschimbate, fie că este „el însuşi", fie că este „propria sa imagine într-o oglindă".

Pînă în anul 1957, totul milita în favoarea intangibilităţii acestui principiu perfect verificat (sau părînd perfect verificat) în domeniul cîmpurilor nucleare şi electromagnetice. Din cauza uriaşelor dificultăţi tehnice, verificarea n-a putut fi însă făcută şi pentru cîmpul interacţiunilor slabe de care depind în special dezintegrarea β şi dezintegrările în cascadă ale mezonilor.

Operînd pentru prima dată pe cobalt radioactiv, răcit la o temperatură apropiată de zero absolut şi orientat de cîmpuri magnetice intense, echipa chineză a dovedit în mod incontestabil că nucleele de cobalt emit electroni într-o direcţie preferenţială în raport cu cîmpul care li

se impune. Experienţele ulterioare au confirmat din plin această observaţie, care a fost reînnoită asupra miuonilor (produse de dezintegrare a mezonilor π) şi apoi asupra neutrinilor.

Dat fiind faptul că principiul parităţii se conservă, după cîte se pare, în interacţiunile tari (anumite experienţe care tind să indice că lucrurile nu s-ar petrece chiar aşa au fost contestate), efectul de asimetrie poate că n-ar trebui atribuit structurii spaţiului-timp, ci particulei însăşi. Pînă la noi cercetări, universul ar rămîne simetric, în sensul că n-ar exista, în general, o direcţie privilegiată în spaţiu : n-am putea spune sus, jos, la dreapta sau la stînga, *decît referindu-ne la ceva.*

Noţiunea de *elicitate* (conform căreia particula s-ar propaga în spaţiul-timp în felul unei elice de avion), la care s-a făcut apel acum cîţiva ani, s-a precizat : aparenţa particulei, considerată clasic ca sferică, a fost preschimbată într-o imagine cilindrică şi apoi în aceea a unui şurub (*screwon*-ii anglo-saxonilor).

Puţin după ce paritatea a fost dată peste cap în interacţiunile slabe, s-a demonstrat, prin experienţe de mare fineţe, că, aşa după cum prevedea teoria, spinul electronului se plasează de-a lungul axei propriului său impuls, şi aceasta cu atît mai exact, cu cît viteza este mai mare. S-a putut dovedi că electronul relativist (e^-) se roteşte spre stînga faţă de direcţia pe care o are. Pozitronul (e^+), replica pozitivă a electronului, are, în aceleaşi condiţii de propagare, o rotaţie spre dreapta.

Se pare că s-a stabilit următoarea regulă : particulele de materie (sau cu „energie pozitivă") au rotaţie spre stînga ; particulele de antimaterie (sau cu „energie negativă"), au rotaţie spre dreapta. În acest fel, spinul unui neutrin este orientat întotdeauna dinspre înainte spre înapoi în raport cu sensul lui de înaintare, iar acela al unui antineutrin dinspre înapoi spre înainte.

Chiar dacă ar exista excepţii, n-ar fi poate prea arbitrar să se sugereze că asimetria în procesele atomice, nucleare şi subnucleare, conduce la ideea exprimată, de exemplu, de fizicianul sovietic Landau, despre o „structură cristalină" a universului. Se înţelege că acest ter-

men este numai o interpretare liberă a fenomenelor, bazată doar pe apelul la noțiunea de hemiedrie, caracteristică cristalelor noastre comune.

Cîmp unic și protomaterie

La începutul anului 1958, marele public vedea tipărită pe prima pagină a ziarelor următoarea formulă sibilină, despre care se afirma că este „revoluția secolului" și opera unui fizician german cu numele de Werner Heisenberg :

$$\gamma_\nu \frac{\delta}{\delta x_\nu} \psi \pm l^2 \gamma_\mu \gamma_s \psi \, (\psi^+ \gamma_\mu \gamma_s \psi) = 0.$$

Telegramele vorbeau despre o „teorie unitară" și, în lipsă de informații mai ample, numeroși comentatori, printre care și semnatarul acestor rînduri, evocau încercările făcute în acest sens de Einstein. Atitudinea noastră era scuzabilă, fiindcă, ceva mai tîrziu, la Congresul de fizică al R. D. Germane, Heisenberg însuși atrăgea atenția auditoriului asupra complexității comunicării sale și mergea pînă acolo încît să declare că specialiștii trebuiau să dea dovadă de răbdare și să nu accepte termenii comunicării, fără o pregătire preliminară.

În Franța, fizicianul André Georges publicase între timp, în „Les nouvelles littéraires", o punere la punct magistrală, din care extragem esențialul :

„Incorporînd electromagnetismul, după gravitație, în teoria sa, Einstein încearcă să reducă în final toate fenomenele materiale la un «cîmp generalizat». Termenul «teoria cîmpului unitar» este folosit curent pentru a denumi această încercare supremă a ilustrului fondator al relativității. Doctrina lui a ignorat însă sistematic cuantele și nici nu a căutat să țină seama în mod explicit de particulele atomice. Fizica actuală a extins mult lista acestor particule, astfel că la electronul și protonul tradițional au trebuit adăugați neutronul, neutrinul, precum și nenumărații mezoni sau alte particule denumite «stranii» fără să mai vorbim de antiparticule. Acum, de curînd,

descoperirea celor doi tineri chinezi, Yang și Lee, care a arătat că există o anumită disimetrie la scara subatomică (și care a fost denumită «neconservarea parității»), a venit să complice și mai mult lucrurile. Unul din obiectivele urgente ale teoriei fizice pare să fie deci acela de a ține seama de această diversitate, de a concentra în măsura posibilului și de a proceda la acea unificare caracteristică oricărei teorii demne de acest nume.

Aceasta este ceea ce caută dl. Heisenberg, împreună cu dl. Pauli, prin aceste poziții noi, care nu corespund de loc cu acelea ale lui Einstein. Aceste poziții se referă în primul rînd la particule, la comportarea și la interacțiunile lor, căutînd să se preocupe de masele lor atît de diferite (acest obiectiv al teoriei este important) și să includă un număr cît mai mare de proprietăți diferite într-un același formalism matematic, formalism care este, de altminteri, mai mult «gen Dirac», decît «gen Einstein»".

Într-adevăr, Heisenberg folosește primul termen al ecuației lui Dirac, *„legea clasică a mișcării în domeniul infinitului mic"*. O variantă a acestei legi a fost propusă de sovieticul Ivanenko în 1938. Ea ținea seama de interacțiunea particulelor (ecuația lui Dirac este liniară), fără să aducă însă soluția unei probleme care urma să se agraveze o dată cu descoperirea „particulelor stranii".

Heisenberg a amintit în mai multe rînduri că ecuația lui trebuia să mai sufere încă îmbunătățiri. Este foarte posibil ca el să se fi apropiat de acest țel la ora cînd sînt scrise aceste rînduri. Un lucru este sigur, și anume acela că bazele nu se vor schimba. După descoperirea hiperonilor, particule cu mase superioare maselor nucleonilor, Heisenberg și-a exprimat părerea că, în conformitate cu relativitatea, enorma energie cinetică care se dezvoltă în timpul ciocnirilor, în radiația cosmică și în acceleratoarele gigantice de particule, poate să faciliteze formarea acestor particule cu o viață extrem de scurtă, care nu sînt un produs al dezintegrării nucleonilor din cauza ciocnirilor, ci rezultatul unor transformări complexe cu caracter relativist.

Aceste transformări ar trebui să poată fi explicate matematic, în același fel în care existența antimateriei a fost *cunoscută matematic* înainte ca ea să fi fost obser-

vată fizic. Din cele două forme de materie (una din ele fiind antimateria celeilalte din punctul de vedere al cîmpului electric și magnetic, și poate din punctul de vedere al tuturor cîmpurilor), una este „cu energie pozitivă", denumită așa fiindcă este forma de materie din care este construită lumea noastră și pe care o putem observa, iar cealaltă „cu energie negativă". Pentru a le distinge, le putem simboliza prin $+1$ și -1.

Heisenberg a sugerat că în afară de cele două constante universale pe care le cunoaștem : h — constanta lui Planck, și c — viteza luminii în vid, mai există (și rămîne să fie descoperită) o a treia constantă universală — l.

„Lucrul acesta — spune el — *este evident din motive pur dimensionale. Constantele universale determină scara naturii, cantitățile caracteristice care nu pot fi reduse la altele. Pentru un ansamblu complet de unități este nevoie de cel puțin trei unități fundamentale. Această necesitate poate fi foarte ușor constatată din sistemele convenționale, cum este sistemul CGS (centimetru, gram, secundă) : o unitate de lungime, o unitate de masă și o unitate de timp sînt suficiente pentru ca să formeze un ansamblu complet. Este însă întotdeauna nevoie de cel puțin trei. Unitățile de mai sus ar putea fi înlocuite prin unități de viteză și de masă sau prin unități de lungime, de viteză și de energie etc., dar în fiecare caz este nevoie de cel puțin trei unități fundamentale. Or, viteza luminii și constanta lui Planck nu ne pun la dispoziție decît două din aceste unități. Trebuie să existe o a treia unitate, și numai o teorie care ar conține această a treia unitate va putea să determine masele și alte proprietăți ale particulelor elementare. Judecînd după cunoștințele noastre actuale despre aceste particule, modul cel mai potrivit de a introduce această de a treia constantă ar fi acela de a considera o lungime universală ipotetică, a cărei valoare ar trebui să fie de circa* 10^{-13} *cm, adică ceva mai mică decît raza nucleelor atomice ușoare. Atunci cînd formăm, pe baza acestor trei unități, o expresie care corespunde ca dimensiuni unei mase, valoarea ei are ordinul de mărime a maselor particulelor elementare"*[1].

[1] *Physique et Philosophie*, p. 190.

După autorul sovietic V. Keler, Heisenberg a folosit încă din 1953 mărimea liniară specială $l=10^{-13}$ cm. Această mărime imaginară poate fi pozitivă sau negativă la pătrat, adică poate avea forma unei mărimi reale multiplicate cu numărul $i = \sqrt{-1}$. Pătratul acestui număr, ne reaminteşte Keler, este egal cu —1, iar —1 înmulţit cu indiferent ce număr pozitiv îl face să devină negativ. Postulînd, împreună cu Markov, existenţa unei protomaterii ipotetice, el adaugă : *„Numărul i nu este cel mai potrivit pentru ca să caracterizeze «protomateria» : ridicat la pătrat, el nu dă decît o valoare negativă, în timp ce mărimea fictivă a lui Heisenberg ridicată la pătrat se poate transforma, fără nici o deosebire, într-un număr mai mare decît zero sau mai mic decît zero"* [1].

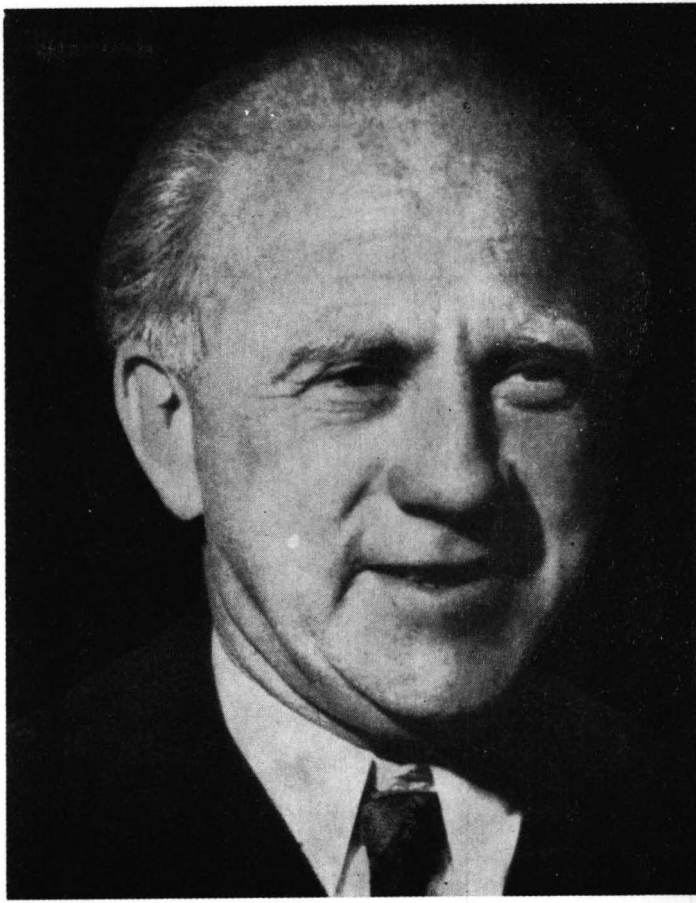
După concepţia lui Heisenberg, protomateria nu este făcută din particule mai mici decît particulele fundamentale, pe care le-ar „constitui", aşa cum nucleonii constituie nucleul atomului. După Keler, Heisenberg ar fi descris astfel protomateria : *„Protomateria ar fi un cîmp fizic unic, în acelaşi timp continuu şi discontinuu. Continuu fiind, el s-ar extinde în întregul univers, inclusiv în vidul din spaţiul liber al particulelor. Universul, lumea infinitului mare, n-ar fi decît un ocean infinit de «protomaterie». Fiind în acelaşi timp discontinuu, cîmpul fizic unic ar fi format din cuante, porţiuni de «protomaterie» indivizibile"* [2].

Această schemă ar fi, „fireşte", conţinută în ecuaţia reprodusă mai sus.

Se zice, pe de altă parte, că Heisenberg ar fi declarat că datorită celei de-a treia constante universale (lungimea elementară), fizicienii ar trebui să se aştepte la *„fenomene cu un caracter calitativ nou"* atunci cînd se vor apropia, în timpul experienţelor, de regiuni de spaţiu-timp mai mici decît nucleele. *„În special* — remarcă el — *în aceste regiuni mai mici ar putea să apară fenomenul inversării timpului, care, pînă în prezent, nu a fost evocat decît din consideraţii teoretice asupra posibilităţii matematice a acestei inversări".*

[1] *L'Univers des physiciens*, p. 190.

[2] *Ibidem*, p. 186.



7. Werner Heisenberg.

8. Werner Heisenberg la biroul său.

Şi el conchide :

„Toate aceste probleme privesc însă cercetările viitoare în fizica atomică. Se poate spera că eforturile combinate ale experienţelor în regiunea de foarte înaltă energie şi analiza matematică să conducă într-o zi la o înţelegere completă a unităţii materiei".

Pentru el, expresia „înţelegere completă" înseamnă că formele materiei, *în sensul filozofiei lui Aristotel* (Heisenberg este acela care-şi dă osteneala să sublinieze acest lucru), *„ar apărea drept rezultate ale soluţiilor unui ansamblu matematic închis, care ar reprezenta legile naturale ale materiei".*

Notă. În ecuaţia reprodusă la începutul acestui paragraf, simbolurile ψ (psi) mici reprezintă materia ; γ (gamma) sînt funcţii matematice ; l este constanta universală, numită „lungime elementară" ipotetică. Celelalte constante, h şi c sînt incluse în mod indirect.

5

Fizică şi filozofie

Ar fi inexact să se pretindă că mecanica cuantică este o filozofie. Şi totuşi, este sigur că teoriile cuantice duc la dezvoltări neprevăzute în domeniul filozofiei. Aceste dezvoltări au devenit evidente încă de la descoperirea cuantei de acţiune în procesele energetice la nivelul structurilor atomice şi ele s-au impus şi mai mult atunci cînd s-a făcut dovadă că radiaţia poate căpăta, în anumite condiţii experimentale, un aspect corpuscular, în timp ce corpusculele pot lua, la rîndul lor, în alte condiţii experimentale, un aspect ondulatoriu.

Mecanica ondulatorie a lui Louis de Broglie a ratificat acest dualism, care reprezintă un răspuns echivoc dat de natură întrebărilor puse de om. Totuşi, pentru autorul mecanicii ondulatorii, ţelul suprem rămîne cel clasic : acela de a *încerca* continuu să ofere o reprezentare corectă a fenomenelor, în spaţiu şi în timp. Preocuparea pentru o reprezentare concretă nu a fost părăsită nici o clipă.

De la introducerea mecanicii cuantice *şi chiar din cauza răspunsurilor date de natură omului,* atunci cînd acesta i-a pus întrebări în microcosm, preocuparea pentru o asemenea reprezentare nu mai intervine, fiindcă o reprezentare exactă a *fenomenelor* este socotită *imposibilă* şi pentru că *nu ar exista o „lume în sine". „Dacă ne este permis să vorbim de o imagine a naturii conformă ştiinţelor exacte ale timpului nostru* — spune Heisenberg —

ar trebui să înțelegem prin ea nu atît imaginea naturii însăși, ci imaginea raporturilor noastre cu natura"[1].

Cu toate acestea, mecanica cuantică nu derivă nicidecum, într-o primă aproximație, din preocupări metafizice. Din contră, Born, Heisenberg și Jordan, adică acei ce au creat, sub impulsul lui Bohr, mecanica cuantică, au înțeles să descrie, în primul rînd, *faptele* microcosmice, tot așa după cum Einstein a înțeles să descrie prin relativitatea restrînsă și apoi prin relativitatea generalizată *faptele* macrocosmice.

Abandonarea „mărimilor" clasice a fost impusă de existența constantei lui Planck *(h)*, care joacă în domeniul microcosmului un rol echivalent aceluia jucat de constanta „c", viteza luminii în vid, în domeniul macrocosmului. Într-adevăr, nu există nici o îndoială că dualismul undă-particulă este strîns legat de cuanta de acțiune. *„Au fost zadarnice toate încercările* — spune Jordan — *de a găsi pentru aceste fapte o explicație bazată pe ideile obișnuite* («a explica» nu înseamnă oare *a ne raporta la ceva deja cunoscut ?).* Am fost deci obligați să ne resemnăm a admite că ne găseam în prezența *a ceva nou, care scăpa complet înțelegerii cu ajutorul ideilor cunoscute și obișnuite* (sublinierea este făcută de noi)" [2].

Deși primit cu rezervă, *din cauză că implica anumite renunțări în domeniul reprezentărilor concrete,* formalismul cuantic nu putea să nu forțeze totuși admirația specialiștilor. După viguroasa controversă care l-a opus școlii de la Copenhaga, în cursul faimosului Congres Solvay, ținut la Bruxelles în 1927, Albert Einstein scria : *„Trebuie să recunoaștem că noua concepție teoretică nu-și are izvorul într-un avînt al imaginației, ci în forța irezistibilă a faptelor experimentale.*

Toate încercările de a reprezenta direct, printr-un model de spațiu-timp, particula și caracterul ondulatoriu, care se manifestă în fenomenele luminoase și materiale, s-au terminat pînă-n prezent printr-un eșec. După cum a arătat într-un mod convingător Heisenberg, o decizie oarecare privitoare la o structură riguros determinată a

[1] *La nature dans la physique contemporaine,* p. 33.
[2] *La physique et le secret de la vie organique,* p. 164.

naturii este riguros exclusă din punct de vedere empiric, din cauza structurii atomice a aparatelor noastre experimentale. Nu este deci de loc probabil ca eventuale informații viitoare să poată sili fizica să părăsească actuala fundamentare teoretică statistică în favoarea unei fundamentări deterministe, care să studieze realitatea fizică într-un mod direct. Logic, problema pare să ofere două posibilități, între care putem să alegem, în principiu. În cele din urmă, alegerea va fi hotărîtă de acel mod de descriere care va permite — logic vorbind — fundamentarea cea mai simplă. În prezent, nu posedăm o teorie deterministă care să ne permită să descriem direct evenimentele în sine și în armonie cu faptele „reale"[1].

În remarcabila sa prezentare, *Fizica nouă și cuantele*, dl. Louis de Broglie afirma la rîndul său, în 1937, următoarele : *„De-abia acum începem să putem măsura importanța revoluției înfăptuite. Fidelă idealului ei cartezian, fizica clasică ne prezenta universul ca un mecanism imens, care putea fi descris cu o precizie totală prin localizarea părților sale în spațiu, și prin modificarea lor în decursul timpului, mecanism a cărui evoluție putea fi prevăzută, în principiu, cu o exactitate riguroasă atunci cînd ne stăteau la dispoziție un anumit număr de date asupra stării lui inițiale. Această concepție se baza însă pe anumite ipoteze implicite, care erau admise aproape fără să ne dăm seama. Una din aceste ipoteze era aceea potrivit căreia cadrul spațiului și al timpului, în care căutăm, aproape instinctiv, să localizăm toate senzațiile noastre, este un cadru perfect rigid și determinat, în care orice eveniment fizic poate fi localizat, în principiu, în mod riguros, independent de procesele dinamice care se desfășoară în el. În consecință, toate evoluțiile lumii fizice sînt reprezentate în mod necesar prin modificări de stări locale în spațiu și în decursul timpului. Din această cauză, în știința clasică mărimile dinamice — cum sînt energia și cantitatea de mișcare — apar ca niște mărimi derivate, construite cu ajutorul conceptului de viteză, cinematica servind astfel drept bază pentru dinamică.*

[1] *Conceptions scientifiques, morales et politiques*, p. 89.

Cu totul altul este punctul de vedere al fizicii cuantice. Existența cuantei de acțiune implică într-adevăr un fel de incompatibilitate între aspectul localizării în spațiu și în timp, și aspectul evoluției dinamice. Fiecare din aceste aspecte poate fi folosit pentru descrierea lumii reale, fără să fie posibil însă a le adapta simultan, în toată rigurozitatea lor. Localizarea exactă în spațiu și timp este un fel de idealizare statică, care exclude orice evoluție și orice dinamism. Ideea stării de mișcare, luată în toată puritatea ei, este, din contră, o idealizare dinamică, contradictorie în principiu cu conceptele de poziție și de moment în timp. Descrierea lumii fizice nu poate fi făcută în teoriile cuantice decît folosind, mai mult sau mai puțin, una sau cealaltă din aceste două imagini contradictorii : ea rezultă deci dintr-un fel de compromis, iar faimoasele relații de incertitudine ale lui Heisenberg ne spun în ce măsură acest compromis este posibil" [1].

Comentatorii sovietici, ale căror critici au fost adesea necruțătoare iar cîteodată sistematice, convin să scrie : *„Mecanica cuantică actuală reprezintă un mare pas înainte. Ea a generalizat un material experimental enorm, ne-a dat posibilitatea să înțelegem numeroase fapte fizice care nu-și găsiseră explicație prin legile fizicii clasice și să prezicem fenomene noi. Mecanica cuantică a explicat numeroase legi importante [...]. În mecanica cuantică, proprietățile materiei și ale mișcării ei sînt explicate cu mai multă profunzime decît în fizica clasică, și tocmai aceasta constituie baza succesului ei"* [2]. În aceeași revistă marxistă, I. P. Terleţki merge pînă acolo încît să susțină : *„Interpretarea mecanicii cuantice ca teorie a mulțimilor statistice, este în acord cu materialismul dialectic și deschide fizicienilor domeniul inexplorat al proceselor cuantice elementare. Prin urmare, teoria cuantică a mulțimilor statistice este o teorie progresistă, care împinge știința spre noi cercetări asupra necunoscutului"* [3].

Este adevărat că imediat după aceasta, Terleţki precizează :

[1] *La physique nouvelle et les quanta*, p. 6.

[2] S. G. Suvorov, *Questions scientifiques, Physique*, tom. I, 1952. p. 53.

[3] *Ibidem*, p. 141.

„Din contră, interpretarea mecanicii cuantice în spiritul teoriei complementarității este incompatibilă cu materialismul. Teoria complementarității atribuie limite artificiale cunoașterii microobiectelor, frînînd prin aceasta progresul științei".

De la complementaritate la indeterminism

Principiul complementarității a fost enunțat de Niels Bohr și poate fi rezumat după cum urmează : *„Cele două aspecte, corpuscular și ondulatoriu, fie ale particulelor în mișcare, fie ale radiațiilor, sînt formele aceleiași realități".* Astfel, în mecanica cuantică, electronul nu este nici particulă și nici undă ; aspectele corpusculare sau ondulatorii sub care avem posibilitatea să-l observăm sînt aspectele *complementare* ale unui fenomen, ale cărui caracteristici *reale* ne scapă.

Este absolut exact că aceasta reprezintă o poziție prin excelență pozitivistă sau — mai bine spus — care corespunde principiilor empiriocriticismului lui Avenarius și Mach. Bohr, care neagă că ar fi pozitivist, a adoptat prima teză a lui Heisenberg, fiindcă i se părea că ea ar putea *„să explice trăsăturile individualității caracteristice fenomenelor cuantice și să lămurească în același timp particularitățile problemei observației din acest domeniu al experienței"*[1].

Bazele mecanicii cuantice raționale fuseseră puse de Heisenberg în 1925 și ele au fost dezvoltate prin importantele contribuții ale lui Born și Jordan, și apoi ale lui Dirac. Noua teorie se prezenta sub forma unui vast ansamblu matematic, în care variabilele cinematice și dinamice ale mecanicii clasice fuseseră înlocuite prin simboluri supuse unei algebre necomutative. Pentru a descrie atomul s-a renunțat la imaginea orbitelor. Ecuațiile mecanicii lui Hamilton nu au fost modificate însă, iar constanta lui Planck nu a intrat decît în regulile de comu-

[1] *Physique atomique et connaisance humaine*, p. 36.

taţie. Graţie reprezentării prin matrice a simbolurilor folosite, ale căror elemente se referă la tranziţii între stări staţionare, a devenit posibilă, pentru prima dată, formularea cantitativă a *„principiului corespondenţei"*, singura călăuză pentru evaluarea probabilităţilor proceselor de tranziţie.

Principiul corespondenţei permite folosirea, în anumite limite, a reprezentărilor mecanice şi electromagnetice clasice, cu toate că din punctul de vedere al acestor teorii, cuanta de acţiune este o „iraţionalitate".

O tranziţie înseamnă trecerea de la o stare cuantică staţionară, la o altă stare cuantică staţionară. Ea produce o variaţie de energie a sistemului. Spectrul este emis printr-un proces în trepte, în care fiecare tranziţie este însoţită de emisia unei cuante de lumină monocromatică, a cărei energie este egală cu un foton.

Experienţa care demonstrează dualismul undă-corpuscul poate servi de exemplu. O particulă (foton sau electron) traversează fie un orificiu, fie o fantă îngustă, practicate într-o diafragmă la o oarecare distanţă în faţa unei plăci fotografice. Din cauza difracţiei undei, legată de mişcarea particulei, nu este posibil să se calculeze cu siguranţă punctul în care electronul sau fotonul va întîlni placa fotografică ; ceea ce se poate calcula *este numai probabilitatea de a afla punctul de impact într-o anumită regiune a plăcii.*

Un alt exemplu ne va da posibilitatea să înţelegem probabilitatea legată de noţiunea de statistică. Este imposibil să se calculeze care nucleu de atom dintr-o anumită masă a unui element radioactiv va suferi transmutaţia caracteristică elementului considerat. Ceea ce se poate spune este numai că într-o anumită unitate de timp — într-o secundă, să zicem — se vor dezintegra atîtea nuclee. Dacă alegem în mod arbitrar un atom dat, este imposibil să calculăm momentul în care nucleul acestuia va suferi *el însuşi,* în raport cu alte nuclee, procesul radioactiv. Singurul lucru pe care putem să-l cunoaştem este probabilitatea pe care o are acest nucleu de a se dezintegra în cursul unui interval dat.

O lege statistică *intangibilă* pare să conducă la indeterminism. Se poate susține că nu există nici o cauză care să facă să se dezintegreze, dintr-o masă de materie radioactivă, cutare nucleu de atom, mai degrabă decît un altul. Se mai poate susține, de asemenea, că acea cauză care intervine ca să provoace dezintegrarea cutărui nucleu mai degrabă decît a altuia este așa de neînsemnată, încît scapă complet procedeelor noastre de investigație cele mai fine. Ar fi extrem de îndrăzneț, ca, bazîndu-ne pe principiul incertitudinii, să declarăm, așa cum a făcut Jordan, că atomul *„manifestă un fel de vitalitate capricioasă"*, sau să vorbim ca și Dirac despre *„libertatea electronului"*.

Se pare că pentru Dirac această afirmație n-a fost decît o vorbă de duh, spusă în tinerețe, sau o replică spontană în focul unei discuții aprinse la Congresul Solvay din 1927, în timp ce Jordan a construit o întreagă teorie filozofică conform căreia, *în linii mari,* liberul arbitru ar decurge dintr-un indeterminism particular.

Chiar dacă indeterminismul static ar părea perfect dovedit, în sensul că nu ar exista *în realitate* nici o cauzalitate de care ar depinde — într-o masă radioactivă — dezintegrarea unui nucleu mai degrabă decît a altuia, cu toate consecințele care rezultă pentru ca principiul să poată fi aplicat la toate nivelurile în care operează incertitudinile și probabilitatea, aceasta nu ne-ar putea împiedica de loc să păstrăm ideea de determinism în lumea noastră sensibilă, cu condiția totuși de a nu recădea în naivitatea determinismului laplacean, fiindcă totul ne face să credem că sistemele vii au capacitatea de a face anumite alegeri, cel puțin în stadiile superioare ale funcției psihice.

Este îndoielnic, pe de altă parte, că am avea dreptul să asimilăm, așa cum a încercat să facă același Jordan, complementaritatea cu psihanaliza, sau să încercăm să stabilim, ca Bohr, o analogie între dualismul undă-corpuscul și noțiunea carteziană a dublului aspect uman corp-suflet...

Poziția lui Heisenberg

Heisenberg s-a ferit întotdeauna de exagerări. Cititorul va găsi în „Texte alese" definiția dată de el „Interpretării de la Copenhaga", iar în *Problema naturii,* definiția conceptului de „adevăr științific". Din cuprinsul acestui capitol vom vedea de ce concepția materialistă, *așa cum era înțeleasă ea în secolul al XIX-lea și la începutul secolului al XX-lea,* i se părea cu totul depășită. Materialiștii dialectici sînt în fond de acord cu el, fiindcă era vorba de o imagine simplistă, de care am fost eliberați de către relativitatea restrînsă și de mecanica ondulatorie.

Înseamnă toate acestea însă că Heisenberg ar putea fi socotit printre materialiști, așa cum a încercat să demonstreze, *în legătură cu unele din teoriile acestuia,* fizicianul britanic Rosenfeld ? Poate că da, însă în alte împrejurări, el raționează, fără discuție, ca un idealist, ba chiar ca un spiritualist. Heisenberg rămîne profund atașat de doctrinele platoniciene și de filozofia lui Kant. Ceea ce se degajă însă în modul cel mai evident din interpretarea rezultatelor lucrărilor sale este un pozitivism de felul aceluia al lui Mach. Este adevărat, așa cum vom vedea mai departe, că el respinge această „acuzație". Dar n-a fost el cel care a scris cele ce urmează? : *„În concepția lumii fizicii clasice baza solidă a oricărei cunoașteri era realitatea obiectivă în spațiu și în timp a evenimentelor, care se desfășurau cu totul independent de procesele spirituale, conform legilor naturii, legi care, la rîndul lor, nu se raportau decît la asemenea evenimente «obiective». Datorită tehnicii perfecționate a observației și îmbogățirii cunoștințelor pozitive care decurg din observație, știința contemporană a fost pînă la sfîrșit silită să-și revizuiască fundamentele gnoseologice și să se convingă că un asemenea fundament solid al întregii cunoașteri nu poate exista. Reprezentarea unui univers extinzîndu-se obiectiv în spațiu și timp nu este și ea decît o «idealizare a realității», făcută din dorința de a obiectiva cît mai mult posibil".*

Punctele de vedere ale lui Einstein și L. de Broglie

Față de nenumăratele adeziuni ale fizicienilor convinși de justețea *totalității* punctelor de vedere ale școlii de la Copenhaga, au existat și unele obiecții valoroase, formulate, printre alții, de către Einstein încă din 1927, și apoi, mai tîrziu, de dl. Louis de Broglie, o vreme aderent al interpretării probabiliste pe care o predase timp de 25 de ani la Collège de France, după cum a declarat chiar el.

Iată una din criticile lui Einstein, ale cărei nuanțe sîntem siguri că nu vor scăpa cititorului. Ceea ce el nu admite este doar părăsirea *definitivă* a descrierii evenimentelor microscopice prin fixarea lor într-un punct al spațiului-timp[1] : *„Se susține că succesul sistemului lui Heisenberg va conduce poate la folosirea unei metode pur algebrice pentru descrierea naturii, adică la eliminarea funcțiilor continue ale fizicii. În cazul acesta, ar trebui să părăsim, din principiu, și continuul spațio-temporal. N-ar fi de neînchipuit ca ingeniozitatea omenească să izbutească într-o zi să găsească metode permițînd urmărirea acestei căi ; la ora actuală însă, un asemenea program ar semăna cu o încercare de a respira în vid.*

Nu e nici o îndoială că mecanica cuantică a intrat în posesia unui important element de adevăr și că ea va fi o piatră de încercare a oricărei baze teoretice viitoare, în sensul că va trebui să poată fi dedusă ca un caz limită, după cum electrostatica poate fi dedusă din ecuațiile lui Maxwell pentru cîmpul electromagnetic, sau după cum termodinamica poate fi dedusă din mecanica clasică. Nu cred însă că mecanica cuantică va fi punctul de plecare al căutării acestei baze, tot așa după cum nu se poate pleca de la termodinamică (respectiv de la mecanica statistică) pentru a se ajunge la bazele mecanicii.

Față de această situație, pare că este perfect justificat să se considere serios problema, dacă baza fizicii cîmpului n-ar putea fi pusă de acord, printr-un mijloc oarecare, cu rezultatele teoriei cuantelor. Nu ar fi aceasta singura bază care, în conformitate cu posibilitățile actua-

[1] *Conceptions scientifiques, morales et politiques*, p. 85.

le ale exprimării matematice, ar putea fi adaptată la cerințele teoriei relativității generale ? Credința, dominantă printre fizicienii de astăzi, că o asemenea încercare n-ar avea nici o șansă de reușită își are rădăcinile în ideea nejustificabilă că o asemenea teorie ar conduce, într-o primă aproximație, la ecuațiile mecanicii clasice pentru mișcările corpusculelor sau, în orice caz, la ecuații cu diferențiale totale.

Este adevărat că pînă acum n-am reușit niciodată să reprezentăm corpusculele teoretic, prin cîmpuri libere de singularități, și nici nu putem spune ceva a priori *despre aceste entități. Un lucru este totuși sigur : dacă o teorie a cîmpului ajunge la o reprezentare a corpusculelor libere de singularități, atunci comportarea în timp a acestor corpuscule va fi determinată numai prin ecuații diferențiale ale cîmpului*".

Părăsirea determinismului, pe care o implică principiul incertitudinii, i-a repugnat întotdeauna d-lui Louis de Broglie și nu de bunăvoie și-a abandonat propria sa teorie a „soluției duble" în folosul mecanicii cuantice. Însă — și el continuă să-și mențină această părere — interpretarea cuantică a școlii de la Copenhaga este suficientă ca să explice toate fenomenele ce pot fi observate în domeniul microcosmului. În cazul acesta, de ce ține el să reia astăzi tezele sale de prin 1925, adoptate între timp de D. Bohm în S.U.A. și de Jean Pierre Vigier în Franța ?

„*Se poate răspunde mai întîi* — scrie el[1] — *că întoarcerea la concepțiile clare, carteziene, care respectă validitatea cadrului spațiului și timpului ar satisface, desigur, multe spirite și ar permite nu numai înlăturarea obiecțiilor tulburătoare ale lui Einstein și Schrödinger, ci și evitarea anumitor consecințe stranii ale interpretării actuale.*

Într-adevăr, încercînd să descrie fenomenele cuantice numai cu ajutorul funcției continue Ψ, *al cărei caracter statistic este sigur, interpretarea actuală ajunge logic la un fel de «subiectivism», înrudit, după părerea filozofi-*

[1] *Nouvelles perspectives en microphysique*, p. 140.

lor, cu idealismul, şi tinde să nege existenţa unei realităţi fizice independente de observator".

Bazîndu-se pe lucrările lui Bohm, dl. Louis de Broglie socoteşte că chiar dacă interpretarea actuală a mecanicii cuantice ajunge pentru prevederea fenomenelor la scara atomică, s-ar putea ca acest lucru să nu se mai întîmple la scara nucleară, *„în care zonele singulare ale diverselor corpuscule s-ar putea încălca, astfel că n-ar mai putea fi considerate drept izolate".* El reaminteşte că interacţiunile din interiorul nucleului continuă să rămînă puţin cunoscute şi că diversele „modele" propuse sînt departe de a fi satisfăcătoare. Ceva mai mult, enigma hiperonilor n-a fost încă dezlegată.

„Se pare — scrie el[1] — *că fizica are nevoie urgentă de a putea defini o structură a particulelor şi, în special, de a putea introduce o «rază» a electronului, ca în vechea teorie a lui Lorenz. Ea nu poate face însă acest lucru, fiindcă este împiedicată de folosirea exclusivă a undei statistice. Ψ pentru descrierea particulelor, care o opreşte să utilizeze vreo imagine structurală a acestor particule. Ne este permis să credem că o schimbare de poziţie, care ar comporta întoarcerea la imaginile spaţio-temporale, ar ameliora situaţia".*

Criticile sale devin şi mai precise în forma următoare : *„Chestiunea care se pune este, în esenţă, aceea de a şti — aşa cum a subliniat adesea Einstein — dacă interpretarea actuală, care foloseşte numai unda cu caracter statistic, este o descriere «completă» a realităţii, caz în care ar trebui să admitem indeterminismul şi imposibilitatea de a reprezenta în mod precis realităţile la scara atomică, în cadrul spaţiului şi al timpului, sau dacă, din contră, această interpretare este incompletă şi ascunde în spatele ei, ca şi vechile teorii statistice ale fizicii clasice, o realitate perfect determinată şi descriptibilă în cadrul spaţiului şi timpului, prin nişte variabile care ne-ar fi ascunse, care ar scăpa adică determinărilor noastre experimentale"* [2].

---

[1] *Nouvelles perspectives en microphysique*, p. 141.

[2] *Ibidem*, p. 142.

RĂSPUNSURILE LUI HEISENBERG

Am mai subliniat o dată că Werner Heisenberg este dușmanul exagerărilor. Extrapolările făcute fie de alți făuritori ai mecanicii cuantice, fie mai adesea, și cîteodată în mod denaturat, de filozofi sau de pseudofilozofi, nu-i pot fi imputate.

Fără să insiste asupra anumitor luări de poziție, Heisenberg și-a pus, în mod justificat, în gardă cititorii : *„Ne simțim astăzi mai puțin înclinați să presupunem că conceptele fizicii — chiar și acelea ale fizicii cuantice — pot fi aplicate fără rezerve întregii biologii sau altor științe. Din contră, vom încerca să lăsăm ușa deschisă intrării noilor concepte, chiar în acele domenii ale științei în care vechile concepte au făcut servicii prețioase, permițînd înțelegerea fenomenelor. În special acolo unde aplicarea vechilor concepte pare oarecum forțată și nu cu totul adecvată problemei, vom încerca să evităm orice concluzie îndrăzneață"* [1].

Pe de altă parte, el n-a pretins niciodată că teoria cuantică ar fi ceva „absolut", cu toate că o consideră, el însuși, ca avînd un caracter „definitiv" în cadrul cunoștințelor actuale. *„Termenul «definitiv», aplicat științelor exacte* — explică el — *înseamnă evident că există sisteme de concepte și de legi care formează o totalitate închisă și care pot fi formulate matematic. Ele sînt valabile pentru anumite domenii ale experienței, în care prezintă o validitate universală, și nu sînt susceptibile nici de transformări, nici de perfecționări"* [2].

Astfel, de exemplu, nu încape nici o îndoială că în condiții experimentale normale, curentul electric va circula întotdeauna de la anod la catod. Cuanta de acțiune este o noțiune cîștigată, asupra căreia nimănui nu i-ar putea trece prin cap să mai revină. Heisenberg are tot dreptul să considere drept imuabil principiul său de incertitudine, în ceea ce privește învelișul electronic al nucleelor, dar n-a pretins niciodată că acest principiu s-ar aplica și părților constitutive ale acestui nucleu. *„Fireşte*

[1] *Physique et philosophie*, p. 201.
[2] *La nature dans la physique contemporaine*, p. 32.

că nu putem spera ca conceptele și legile să fie capabile să reprezinte, ca urmare a aplicațiilor lor, noi domenii ale experienței. De aceea, nici conceptele și legile teoriei cuantelor nu pot fi considerate ca definitive, altfel decît în aceste limite. În acest sens limitat, și numai în acest sens, i se poate întîmpla unei cunoașteri științifice să fie «definitiv» fixată într-un limbaj matematic sau altul".

În ceea ce privește observația perfect fundată a oponenților săi, conform căreia „Interpretarea de la Copenhaga" n-ar permite o *descriere* univocă și *obiectivă* a fenomenelor fizice, Heisenberg pune problema de a se ști ce se înțelege exact prin „descriere". În ceea ce-l privește, el consideră că mecanica cuantică oferă o descriere cu totul corectă a proceselor observate.

„Orice cunoaștere, științifică sau nu — scrie el — *depinde de limbajul nostru, de comunicarea ideilor. Orice descriere a fenomenelor, a experiențelor sau a rezultatelor lor se sprijină pe limbajul nostru drept unic mijloc de comunicare. Cuvintele acestui limbaj reprezintă conceptele vieții zilnice care, în limbajul științific al fizicii, se pot rafina într-atît încît să devină concepte ale fizicii clasice. Aceste concepte sînt singurele unelte care ne permit să schimbăm fără echivoc gîndurile noastre asupra fenomenelor, a organizării experiențelor și asupra rezultatelor lor. Deci, atunci cînd i se cere atomistului să dea o descriere a celor ce se petrec realmente în experiențele sale, cuvintele «descriere», «în realitate», «se petrec» nu pot privi decît conceptele vieții zilnice sau ale fizicii clasice. Dacă fizicianul ar părăsi această bază, ar pierde putința de a se exprima fără echivoc și nu și-ar mai putea continua cercetarea științifică. În consecință, orice declarație asupra celor ce «s-au petrecut în realitate» este o declarație în termeni de concepte clasice și — din cauza termodinamicii și a relațiilor de incertitudine — incompletă în sine în ceea ce privește detaliile fenomenelor în cauză. A cere cuiva să descrie ceea ce «se petrece» în procesele cuantice, între două observații succesive, este o contradicție* in adjecto, *deoarece cuvîntul «a descrie» se referă la folosirea conceptelor clasice, în timp ce aceste concepte nu pot fi aplicate pentru inter-*

valele care despart două observații, ci numai în punctele de observație" [1].

În cele ce urmează, Heisenberg se apără de învinuirea că ar fi pozitivist sau chiar că „Interpretarea de la Copenhaga" ar fi pozitivistă. *„În timp ce pozitivismul consideră percepțiile senzoriale ale observatorului drept elemente ale realității, «Interpretarea de la Copenhaga» consideră că fundamentele oricărei interpretări fizice sînt lucrurile și procesele descriptibile cu ajutorul conceptelor clasice, adică realul"* [2].

Apoi adaugă : *„Vedem în același timp că natura statistică a legilor fizicii macroscopice nu poate fi evitată, fiindcă, din cauza legilor cuantice, orice cunoaștere a «realului» este o cunoaștere incompletă în sine"*.

A nega apartenența pozitivistă nu înseamnă însă aderiunea la materialism, a cărui ontologie, ne asigură el *„se sprijinea pe iluzia că felul de existență, «realitatea» directă a lumii care ne înconjură, ar putea fi extrapolată pînă la ordinul de mărime a atomului"*.

Heisenberg nu precizează însă de care materialism este vorba : materialismul dialectic condamnă și el materialismul simplist, care, după marea înflorire de care s-a bucurat în secolul al XIX-lea, continuă să mai obsedeze prin deprindere o mulțime de spirite de academicieni, sau de spirite numindu-se sau crezîndu-se „academice".

De altminteri, criticii marxiști care s-au ocupat serios de ultimele lucrări ale lui Werner Heisenberg au admis că ele duc la concepții foarte apropiate de cele ale lor, cu atît mai mult cu cît la a IX-a Conferință internațională Rochester, care a avut loc în 1959 la Kiev, el a declarat : *„Dacă cercetăm legile de care ascultă transformarea particulelor de un tip dat într-un tip diferit și cu caracteristici diferite, sîntem obligați să recunoaștem că este puțin probabil ca un grup de particule să fie guvernat de anumite legi, iar alt grup de alte legi. Există, după toate aparențele, o lege unică a naturii, poate chiar o lege foarte simplă, care ar putea condiționa existența*

[1] *Physique et philosophie*, p. 164.
[2] *Ibidem*, p. 165.

particulelor elementare, proprietățile lor și existența cîmpului lor de forță" [1].

După Keler, de la care am împrumutat acest citat, Heisenberg ar fi convenit, în același an, că există *„o legătură indestructibilă care unește materia cu spațiul și cu timpul"*. Această afirmație nu indică, fără îndoială, o evoluție spre materialism, însă în prezent divergențele de păreri dintre oamenii de știință nu se mai datoresc decît semanticii.

Pentru fizicianul modern care se declară materialist dialectic, materia nu mai poate fi un concept așa de sărac ca singurul concept pe care Engels îl avea, la timpul lui, la dispoziție. Suvorov, pe care l-am mai citat, precizează[2] : *„Materia în sens restrîns și cîmpul sînt manifestări fizice particulare ale naturii care există obiectiv, iar între aceste manifestări nu există frontiere de netrecut, ci o unitate dialectică. Cîmpul electromagnetic, de exemplu, se transformă în perechi electron-pozitorn, și invers. Fizicienii sînt din ce în ce mai convinși de faptul că materia în sens restrîns și cîmpul sînt noțiuni relative, în sensul că în anumite condiții materia se manifestă* ca materie în sens restrîns, *ca un ansamblu de particule,* iar în alte condiții, ca un cîmp *care condiționează interacțiunea particulelor de un alt fel* (fotonii condiționează interacțiunea sarcinilor electrice ; mezonii sînt «vehiculele» interacțiunilor nucleare etc.)".

Și Suvorov adaugă : *„Mișcarea materiei încetează, din ce în ce mai mult, de a mai fi în ochii fizicienilor doar un atribut exterior al materiei, cum era cazul atunci cînd nu se cunoșteau decît corpurile macroscopice și forma mecanică a mișcării, care consta numai în deplasarea acestor corpuri macroscopice. În microfizică, mișcarea nu este numai o simplă deplasare ; ea este o formă mai complexă de schimbare a stării obiectelor microscopice, transformare legată în mod esențial de aspectul concret pe care îl îmbracă materia. În afară de determinarea legii*

[1] Citat de Keler, în *L'Univers des physiciens,* p. 191.

[2] *Questions scientifiques, Physique,* p. 33.

mişcării unui obiect material, nu putem spune nimic în privinţa ei".

Există oare o diferenţă fundamentală între acest punct de vedere al unui materialist dialectic autentic şi punctele de vedere generale ale lui Heisenberg, care se apără adesea de a fi un materialist (desigur, în felul acelora din secolul al XIX-lea şi de la începutul secolului al XX-lea)?

El ar trebui să ne dea răspunsul înainte de reeditarea acestei cărţi. Are vîrsta de numai 65 de ani şi, sperăm noi, încă mulţi ani fructuoşi în faţa lui.

Orsay, 20 decembrie 1965

Texte alese

Cîteva cugetări ale lui Werner Heisenberg

Pe vremuri, Omul stătea față-n față cu Natura, locuită de făpturi de toate soiurile. Natura constituia un regat care trăia după propriile lui legi ; Omul trebuia să se adapteze la ea, într-un fel sau altul. Astăzi, trăim într-o lume așa de complet transformată de Om, încît întîlnim pretutindeni structurile al căror autor este el.

■

Împărțirea convențională a lumii în subiect și obiect, în lume interioară și lume exterioară, în trup și suflet, nu mai poate fi explicată.

■

Pentru științele naturii, subiectul cercetării nu mai este „natura în sine", ci Natura supusă întrebărilor Omului. În această confruntare, Omul nu se-ntîlnește decît cu el însuși.

■

Spațiul în care Omul se dezvoltă ca ființă spirituală are o amploare mult mai mare decît singura dimensiune în care activitatea lui s-a desfășurat în cursul ultimelor secole.

■

Susținătorii atomismului au trebuit să se aplece în fața faptului că știința nu este decît o verigă din lanțul infinit

al dialogurilor dintre Om şi Natură, şi că fizica nu mai poate vorbi în mod simplist despre o Natură „în sine".

■

În viitor, numeroasele aparate tehnice puse la dispoziţia Omului de către Om vor fi poate tot aşa de nedespărţite de el ca cochilia, de melc, sau pînza, de păianjen. Iar aceste aparate vor constitui mai degrabă părţi ale organismului omenesc, decît părţi ale Naturii înconjurătoare.

■

Intervenţia tehnicii în raporturile dintre Om şi Natură se traduce prin faptul că tehnica transformă, pe scară largă, lumea înconjurătoare a Omului, dezvăluindu-i, fără încetare şi fără putinţă de ocolire, aspectul ştiinţific al Universului.

■

Dacă ne este îngăduit să vorbim de o imagine a Naturii conformă cu ştiinţele exacte ale timpului nostru, ar trebui să înţelegem prin ea nu atît imaginea Naturii, cît *imaginea raporturilor noastre cu Natura.*

■

Nu trebuie să uităm niciodată că în tragedia existenţei sîntem, în acelaşi timp, actori şi spectatori.

■

Chiar şi pentru un fizician, expunerea într-un limbaj simplu este o măsură a gradului de înţelegere la care a ajuns.

■

Este posibil ca influenţa spirituală a ştiinţei moderne să faciliteze unor grupuri şi mai vaste de oameni obser-

vația că doctrinele nu sînt poate așa de importante pentru societate cum se presupunea pînă acum. În felul acesta, influența științei moderne ar putea favoriza o atitudine de toleranță, dovedindu-se astfel utilă.

■

Dacă ții să nu spui niciodată lucruri greșite, trebuie să păstrezi tăcerea.

■

Spre deosebire de ideile politice, care pot căpăta o mare influență asupra maselor populare numai pentru că corespund sau par a corespunde intereselor primordiale ale poporului, ideile științifice nu se răspîndesc decît atunci cînd sînt corecte.

Interpretarea de la Copenhaga

Interpretarea de la Copenhaga a teoriei cuantice a luat naştere dintr-un paradox. Orice experienţă de fizică, indiferent dacă este vorba de fenomene ale vieţii cotidiene sau de fenomene atomice, este descrisă, prin forţa lucrurilor, în termeni de fizică clasică. Conceptele fizicii clasice formează limbajul cu ajutorul căruia descriem condiţiile în care se desfăşoară experienţele noastre şi comunicăm rezultatele lor. Ne este imposibil să înlocuim aceste concepte prin altele, şi nici nu ar trebui să încercăm să facem acest lucru. Aplicarea acestor concepte este limitată însă de relaţiile de incertitudine, şi atunci cînd folosim conceptele clasice, n-ar trebui să pierdem nici un moment din vedere valoarea lor limitată, care nici nu ne permite, nici nu ne dă dreptul să încercăm a le îmbunătăţi.

Pentru a înţelege mai bine acest paradox, este bine să comparăm procesele folosite pentru interpretarea teoretică a unei experienţe din fizica clasică, cu acelea din mecanica cuantică. Să luăm un exemplu. În mecanica newtoniană putem începe prin măsurarea poziţiei şi vitezei unei planete a cărei mişcare vrem să o studiem, pentru a calcula — pe baza observaţiilor şi pentru un moment dat — valorile coordonatelor şi valoarea cantităţii de mişcare ale acestei planete, valori pe care le punem la dispoziţia aparatului matematic. Folosind apoi ecuaţiile mişcării putem calcula valorile coordonatelor, ale cantităţii de mişcare, precum şi toate celelalte proprietăţi ale sistemului pentru un moment ulterior. În felul acesta, astronomul poate prevedea proprietăţile suc-

cesive ale sistemului şi poate calcula, de exemplu, momentul exact al unei eclipse de Lună.

În teoria cuantică, procesul este oarecum diferit. Să presupunem că ne interesează mişcarea unui electron într-o cameră Wilson şi că putem determina, printr-o observaţie de indiferent ce fel, poziţia şi viteza iniţială ale acestui electron. Această determinare nu va fi însă precisă, fiindcă va fi afectată cel puţin de impreciziile cauzate de relaţiile de incertitudine, precum şi — probabil — de erori mai mari datorate dificultăţilor experienţei. Prima din aceste imprecizii ne permite să transpunem rezultatul observaţiei noastre în schema matematică a teoriei cuantice, conform căreia vom scrie o funcţie de probabilitate care să reprezinte situaţia experimentală din momentul măsurării şi care să cuprindă chiar erorile posibile de măsură.

Această funcţie de probabilitate este un compromis : reprezintă parţial un fapt, şi parţial cunoştinţa noastră despre un fapt. Reprezintă un fapt în măsura în care funcţia atribuie pentru momentul iniţial o probabilitate de 100% (adică o certitudine totală) situaţiei iniţiale, adică a trecerii electronului prin poziţia observată cu viteza observată („observată" adică în limitele de precizie ale experienţei). Funcţia de probabilitate reprezintă, pe de altă parte, cunoştinţa noastră despre fapt, în măsura în care un alt observator ar putea cunoaşte poziţia electronului cu o precizie şi mai mare. Eroarea experimentală nu prezintă, cel puţin pînă la un anumit grad, o proprietate a electronului, ci faptul că nu avem decît o cunoştinţă incompletă despre acest electron, deficienţă exprimată de asemenea în funcţie de probabilitate.

Pentru a face o măsurare îngrijită în fizica clasică, trebuie să considerăm de asemenea şi eroarea de observaţie, ceea ce ne-ar da o distribuţie a probabilităţii pentru valorile iniţiale ale coordonatelor şi ale vitezelor, prin urmare ceva foarte asemănător funcţiei de probabilitate din mecanica cuantică. Ceea ce nu există în fizica clasică este numai incertitudinea inerentă relaţiilor de incertitudine.

În mecanica cuantică, o dată ce funcţia de probabilitate a fost determinată pentru momentul iniţial (cu aju-

torul observației), putem să calculăm cu ajutorul legilor teoriei cuantice funcția de probabilitate pentru un moment ulterior oarecare, adică să determinăm probabilitatea ca o măsurare oarecare să dea o valoare anumită cantității măsurate. Aceasta înseamnă că putem prevedea probabilitatea de a găsi electronul la un moment ulterior fixat, într-un punct dat al camerei Wilson. Trebuie subliniat însă că funcția de probabilitate nu reprezintă, prin ea însăși, desfășurarea fenomenului în timp, ci doar o tendință a fenomenelor și a cunoașterii noastre asupra acestor fenomene. Funcția de probabilitate nu poate fi legată cu realitatea decît în cazul în care este îndeplinită o condiție esențială, și anume aceea ca să se facă o nouă măsurare pentru determinarea unei anumite proprietăți a sistemului. De-abia după ce am făcut acest lucru, funcția de probabilitate ne permite să calculăm rezultatul probabil al noii măsurări, rezultat care va fi exprimat din nou în termeni de fizică clasică.

Rezultă că interpretarea teoretică a experienței prezintă trei faze distincte :

1. transpunerea situației experimentale inițiale într-o funcție de probabilitate ;
2. urmărirea evoluției în timp a acestei funcții ;
3. enunțarea noii măsurări a sistemului care urmează să fie făcută și al cărei rezultat va putea fi calculat pe baza funcției de probabilitate.

Condiția necesară pentru prima fază este satisfacerea relațiilor de incertitudine. A doua fază nu poate fi descrisă cu ajutorul conceptelor clasice, fiindcă nu există nici o informație despre ceea ce devine sistemul în intervalul dintre observația inițială și măsurarea următoare. De-abia în a treia fază trecem din nou de la „posibil", la „real".

Să ilustrăm aceste trei faze printr-o experiență ideală simplă. Se afirmă că atomul constă dintr-un nucleu și din electroni care se rotesc în jurul acestui nucleu. S-a afirmat, de asemenea, că conceptul de orbită electronică ar fi îndoielnic. S-ar putea susține totuși, că ar fi posibil (cel puțin în principiu) să observăm electronul pe orbita lui. În acest scop, ar fi de ajuns să observăm atomul cu ajutorul unui microscop cu o foarte mare putere de rezoluție pentru a putea vedea electronul deplasîndu-se

pe orbita lui. Un microscop care foloseşte lumina obişnuită n-ar putea să aibă o putere de rezoluţie suficient de mare, fiindcă imprecizia măsurării poziţiei nu poate fi niciodată inferioară lungimii de undă a luminii folosite. Un microscop cu radiaţii γ, cu o lungime de undă inferioară dimensiunii atomului, ar fi mai potrivit. Este adevărat că nu s-a construit încă un microscop de acest fel, însă lucrul acesta nu trebuie să ne împiedice să discutăm experienţa noastră ideală.

Prima fază (transpunerea rezultatului în funcţia de probabilitate) este ea oare posibilă? Nu este posibilă decît dacă relaţia de incertitudine este satisfăcută după observaţie. Poziţia electronului va fi cunoscută cu o precizie determinată de lungimea de undă a radiaţiilor γ folosite. Se poate ca electronul să fi fost practic în repaus înaintea observaţiei. În cursul observaţiei însă, a trebuit ca prin microscop să treacă cel puţin o cuantă de radiaţie, cuantă care, prin forţa lucrurilor, a fost deviată de electron. Rezultă că electronul a fost „îmbrîncit" de cuanta luminoasă, modificîndu-şi cantitatea de mişcare şi viteza, astfel că se poate arăta că incertitudinea asupra acestei modificări este destul de mare pentru a asigura valabilitatea relaţiilor de incertitudine. Prima fază nu prezintă, prin urmare, dificultăţi.

Vom constata, în acelaşi timp, cu uşurinţă, că nu există nici un mijloc pentru observarea orbitei electronului în jurul nucleului. Faza a doua ne arată un pachet de unde deplasîndu-se nu în jurul nucleului, ci îndepărtîndu-se de atom, din cauză că prima cuantă luminoasă a smuls electronul din atom. Cantitatea de mişcare a cuantei luminoase este mult mai mare decît cantitatea de mişcare iniţială a electronului, cu toate că lungimea de undă a radiaţiilor este mult inferioară dimensiunii atomului. Rezultă că cuanta luminoasă este suficientă ca să smulgă electronul din atom, şi că nu vom putea observa niciodată mai mult de un singur punct al orbitei electronului. În sensul obişnuit al termenului, nu există deci orbită.

Observaţia următoare — faza a treia — va arăta electronul, pe traiectoria lui, îndepărtîndu-se de atom.

În general vorbind, constatăm că nu există nici un mijloc pentru a descrie ce se petrece între două observații consecutive. Firește că sîntem tentați să spunem că electronul a trebuit să fie doar undeva între aceste două observații și că prin urmare, el a trebuit să descrie o traiectorie sau o orbită oarecare, chiar dacă nu avem poate posibilitatea de a o cunoaște. Acesta ar putea să fie un argument rezonabil în fizica clasică, însă în teoria cuantică, el nu ar reprezenta decît un abuz de limbaj, care, așa cum vom vedea mai departe, nu ar avea nici o bază.

Nu vom discuta deocamdată faptul că această punere în gardă reprezintă un enunț al felului în care ar trebui să vorbim de fenomenele atomice, sau un enunț al fenomenelor înseși, dacă este vorba de epistemologie sau de ontologie. În orice caz, trebuie să fim foarte prudenți atunci cînd este vorba de construcția unei declarații oarecare privind comportarea particulelor atomice.

De fapt, nici un avem nevoie să vorbim de particule. Pentru multe experiențe, este mult mai comod să vorbim de unde corpusculare staționare în jurul nucleului atomic. O asemenea descriere ar fi în contradicție directă cu cealaltă descriere, dacă am neglija limitările provocate de relațiile de incertitudine, datorită cărora se evită contradicția. Folosirea termenului „undă corpusculară" este comodă, de exemplu, atunci cînd ne ocupăm de radiația emisă de atom. Prin frecvențele și intensitățile sale, această radiație ne dă informații asupra distribuției sarcinii oscilante în atom și, din acest punct de vedere, imaginea ondulatorie este mult mai apropiată de adevăr decît imaginea corpusculară. Tocmai din această cauză, Bohr a preconizat folosirea acestor două imagini pe care el le-a numit „complementare". Firește că cele două imagini se exclud una pe alta, fiindcă un lucru dat nu poate fi în același timp o particulă (adică o substanță închisă într-un volum foarte mic) și o undă (adică un cîmp care se extinde pe un spațiu mare), însă ele sînt complementare. Jonglînd cu aceste două imagini, trecînd de la una la alta și revenind la cea dintîi, obținem în cele din urmă o impresie corectă asupra realității stranii care se ascunde în spatele experiențelor noastre atomice. Bohr folosește

în mai multe locuri conceptul de „complementaritate" pentru a interpreta teoria cuantică : cunoașterea poziției unei particule este complementară cunoașterii vitezei sale sau cantității sale de mișcare. Dacă cunoaștem cu mare precizie una din aceste valori, n-o putem cunoaște și pe cealaltă, cu aceeași precizie. Și totuși, pentru a determina comportarea sistemului, este necesar ca ambele valori să ne fie cunoscute.

Descrierea fenomenelor atomice în spațiu-timp este complementară descrierii lor deterministe. Funcția de probabilitate ascultă de o ecuație de mișcare, așa cum fac și coordonatele în mecanica newtoniană. Deși modificarea ei în timp este complet determinată de ecuația din mecanica cuantică, ea nu ne permite însă o descriere în spațiu-timp. Observația impune, pe de altă parte, descrierea în spațiu și în timp, rupînd însă continuitatea determinată de funcția de probabilitate și modificînd cunoașterea noastră a sistemului.

În general, dualismul între două descrieri diferite ale aceleiași realități nu mai reprezintă o dificultate, fiindcă știm că formularea matematică a teoriei neagă această contradicție. Dualismul între aceste două imagini — undă și particule — apare clar și în suplețea ansamblului matematic. Formal, ansamblul matematic este scris în mod obișnuit astfel ca să semene cu acela din mecanica newtoniană, cu ecuații ale mișcării avînd ca variabile coordonatele și cantitățile de mișcare ale particulelor, însă printr-o transpunere în trei dimensiuni. Prin urmare, posibilitatea de a jongla cu imaginile complementare diferite își are analogul ei în diferitele transformări ale ansamblului matematic. Ea nu conduce la nici o dificultate în „Interpretarea de la Copenhaga" a teoriei cuantice.

O dificultate reală intervine însă în înțelegerea acestei „Interpretări", atunci cînd se pune întrebarea : „Ce se petrece *realmente* în cursul unui fenomen atomic ?"

Știm deja că mecanismul și rezultatul unei observații pot fi exprimate întotdeauna cu ajutorul conceptelor clasice. Ceea ce se deduce însă dintr-o observație este o funcție de probabilitate, o expresie matematică care combină enunțuri asupra posibilităților sau tendințelor, cu enunțuri asupra cunoașterii noastre a faptelor. Din această

cauză, noi nu putem reda absolut obiectiv rezultatul unei observații, adică nu putem descrie „ce se petrece" între această observație și cea următoare. Face impresia deci că am introdus un element subiectiv în teorie. Este ca și cînd am vrea să spunem : ceea ce se petrece depinde de felul cum facem observația sau de faptul că facem observație. Înainte de a discuta această problemă a subiectivității, este necesar să explicăm foarte clar de ce am întîmpina dificultăți de neînvins dacă am încerca să descriem ceea ce se petrece între două observații consecutive.

În acest scop, să analizăm experiența ideală următoare. Să presupunem că un ecran negru, prevăzut cu două găuri mici, este luminat de o mică sursă de lumină monocromatică. Diametrul găurilor poate să nu fie cu mult superior lungimii de undă a luminii, însă distanța dintre ele trebuie să fie mult mai mare. În spatele ecranului, la o anumită distanță, se află o placă fotografică care înregistrează lumina care cade pe ea. Dacă descriem experiența în termeni ondulatorii, vom spune că unda incidentă pătrunde prin cele două găuri, că începînd de la aceste găuri se produc unde secundare sferice care interferează între ele și că aceste interferențe produc o rețea de intensitate variabilă (franjuri de interferență) pe placa fotografică.

Or, înnegrirea plăcii fotografice este un proces cuantic, o reacție chimică produsă de cuante luminoase individuale ; ar trebui să fie deci posibil să descriem experiența cu ajutorul cuantelor luminoase. Dacă am avea dreptul să spunem ce se întîmplă cu o cuantă luminoasă individuală între emisia ei de la sursă și absorbția ei de către placă, am putea face următorul raționament. Această cuantă luminoasă trece fie prin prima gaură, fie prin cea de-a doua. Dacă cuanta trece prin prima gaură și este difractată, probabilitatea ca ea să fie absorbită într-un punct dat al plăcii fotografice nu poate depinde de faptul că cea de-a doua gaură este deschisă sau închisă, astfel că distribuția probabilității pe placă va fi aceeași ca atunci cînd numai prima gaură ar fi fost deschisă. Dacă experiența este repetată de un număr mare de ori și dacă se colectează toate cazurile în care cuanta luminoasă a

trecut prin prima gaură, înnegrirea plăcii, provocată de aceste cazuri, va corespunde distribuției probabilității.

Dacă nu luăm în considerație decît cuantele luminoase care trec prin cea de-a doua gaură, înnegrirea ar trebui să corespundă unei distribuții a probabilității bazată pe ipoteza că numai această de-a doua gaură este deschisă. În consecință, înnegrirea totală n-ar trebui să fie decît suma înnegririlor din cele două cazuri sau, cu alte cuvinte, n-ar trebui să avem franjuri de interferență.

Știm însă că această concluzie este falsă, pentru că experiența dă franjuri de interferență. Rezultă că o declarație după care orice cuantă luminoasă trebuie să treacă, în mod necesar, *fie* prin prima, *fie* prin cea de-a doua gaură, este problematică și duce la contradicții. Acest exemplu arată foarte clar că conceptul funcției de probabilitate nu ne permite să descriem ceea ce se petrece între două observații. Orice încercare de a găsi o asemenea descriere ar duce la contradicții, ceea ce înseamnă, în mod necesar, că termenul „se petrece" este restrîns la observație.

Concluzia aceasta este însă foarte stranie, fiindcă pare să indice că observația joacă un rol hotărîtor într-un fenomen și că realitatea variază după cum observăm sau nu. Pentru a vedea lucrurile și mai clar, este necesar să analizăm mai îndeaproape procesul de observație.

Pentru a începe, este important să nu uităm că în științele experimentale nu ne interesăm de universul luat ca un tot — inclusiv persoana noastră — ci că ne îndreptăm atenția asupra unei anumite părți a acestui univers, pe care o facem obiectul studiului nostru. În fizica atomică, această parte a universului este, în general, un obiect foarte mic, o particulă atomică sau un grup de asemenea particule, putînd fi însă cîteodată mai mare. De altfel, dimensiunea interesează puțin. Ceea ce importă este ca o mare parte a universului — inclusiv persoana noastră — să *nu* aparțină acestui obiect.

Interpretarea teoretică a unei experiențe începe cu cele două faze pe care le-am discutat. În prima fază, trebuie să descriem, în termenii fizicii clasice, condițiile experienței, combinate în final cu o primă observație, și

să traducem apoi această descriere într-o funcție de probabilitate. Această funcție urmează legile mecanicii cuantice, iar evoluția ei în timp — care este continuă — poate fi calculată plecînd de la condițiile inițiale. Aceasta este cea de-a doua fază. Funcția de probabilitate combină elemente obiective și elemente subiective. Ea conține enunțuri asupra posibilităților și asupra tendințelor celor mai probabile (*potentia*, în filozofia lui Aristotel), care sînt absolut obiective și nu depind cîtuși de puțin de observator, precum și enunțuri referitoare la ceea ce știm noi despre sistem, care sînt, firește, subiective în măsura în care pot diferi de la un observator la altul. În cazurile ideale, elementul subiectiv al funcției de probabilitate poate fi practic neglijabil, comparat cu elementul obiectiv. Fizicianul spune în acest caz că este vorba de un „caz pur".

Atunci cînd trecem la observația următoare (al cărei rezultat ar trebui să-l putem prevedea cu ajutorul teoriei), este foarte important să ținem seama de faptul că obiectul nostru a fost, în mod necesar, în contact cu alte părți ale lumii (condițiile experimentale, aparatele de măsură etc.), înaintea observației sau, cel puțin, în timpul observației. Aceasta înseamnă că ecuația mișcării pentru funcția de probabilitate conține acum influența interacțiunii cu dispozitivul de măsură. Influența aceasta introduce un nou element de incertitudine, fiindcă dispozitivul de măsură este în mod necesar descris în termeni de fizică clasică, iar această descriere conține toate incertitudinile provocate de structura microscopică a dispozitivului, pe care le cunoaștem din termodinamică. Din cauză că dispozitivul este în relație cu restul lumii, el conține de fapt incertitudini asupra naturii microscopice a lumii întregi. Se poate spune că aceste incertitudini sînt obiective în măsura în care nu sînt decît o consecință a descrierii cu ajutorul fizicii clasice și nu depind de loc de observator, și că sînt subiective în măsura în care se referă la cunoașterea noastră incompletă a acestei lumi.

O dată ce această interacțiune s-a produs, funcția de probabilitate conține elementul obiectiv de tendință și elementul subiectiv de cunoaștere incompletă, chiar dacă

mai înainte ar fi fost vorba de un „caz pur". Acesta este motivul pentru care nu se poate prevedea — în general — cu certitudine rezultatul observației ; ceea ce se poate prezice este probabilitatea unui anumit rezultat al observației, probabilitate care poate fi verificată repetînd experiența de un număr mare de ori. Spre deosebire de dezvoltarea obișnuită din mecanica newtoniană, funcția de probabilitate nu descrie un anumit fenomen, ci un întreg ansamblu de fenomene posibile — cel puțin în timpul procesului de observație.

Observația însăși modifică în mod discontinuu funcția de probabilitate ; ea alege dintre toate fenomenele posibile pe acela care a avut loc în realitate. Datorită faptului că prin observație cunoașterea noastră a sistemului s-a modificat în mod discontinuu, reprezentarea sa matematică a suferit și ea o modificare discontinuă, pe care o numim un salt „cuantic". Celor care folosesc vechiul adagiu *Natura non facit saltus* (Natura nu face salturi) drept punct de plecare pentru critica teoriei cuantice, le putem răspunde, că de fapt cunoașterea noastră se poate schimba în mod neașteptat și că acest lucru justifică termenul „salt cuantic".

Rezultă din cele de mai sus că tranziția de la „posibil" la „real" se produce în timpul actului de observare. Atunci cînd vrem să descriem ceea ce se petrece în cursul unui fenomen atomic, trebuie să ținem seama că termenul „se petrece" nu se aplică decît observației și nu și stării de lucruri dintre două observații. Termenul se aplică actului fizic al observării și nu actului psihologic, astfel că ne este permis să spunem că tranziția de la „posibil" la „real" se produce de îndată ce interacțiunea obiectului cu instrumentul de măsură (și deci cu restul lumii) a început să se producă. Termenul „se petrece" n-are nici o legătură cu actul de înregistrare a rezultatului de către creierul observatorului. Modificarea discontinuă a funcției de probabilitate se produce însă în același timp cu actul înregistrării, fiindcă modificarea discontinuă a cunoașterii noastre în momentul înregistrării își are reflexul în modificarea discontinuă a funcției de probabilitate.

În fond, în ce măsură am ajuns noi la o descriere obiectivă a lumii, în special a lumii atomice ? În fizica

clasică, știința pleca de la credința — ar trebui poate să-i spunem iluzia ? — că puteam descrie lumea (cel puțin în parte) fără absolut nici o intervenție a propriei noastre persoane. Acest lucru este într-adevăr posibil pe scară largă : știm că orașul Londra există și că-l putem vedea sau nu. Se poate spune că fizica clasică este tocmai această idealizare care ne permite să vorbim de fracțiuni de lume, fără ca persoana noastră să intre în joc. Succesele repurtate de această teză au condus la ideea generală a unei descrieri obiective a lumii, iar obiectivitatea a devenit principiul de apreciere a valorii unui rezultat științific. Dar „Interpretarea de la Copenhaga" a mecanicii cuantice mai corespunde ea încă acestui ideal ? În măsura posibilului, am putea răspunde noi. Cu siguranță că teoria cuantică nu comportă caracteristici cu adevărat subiective, fiindcă ea nu introduce spiritul fizicianului ca parte a unui fenomen atomic. Ea pleacă însă de la împărțirea lumii între „obiect" și restul lumii, precum și de la faptul că folosim pentru descrierea noastră conceptele clasice, cel puțin în ceea ce privește restul lumii. Această împărțire este arbitrară și decurge istoric și direct din metoda noastră științifică. Folosirea conceptelor clasice nu e, în definitiv, decît o consecință a modului general în care gîndește omenirea. Acest fapt conține însă deja o referire la noi înșine și, din această cauză, descrierea noastră nu este complet obiectivă.

Am spus de la început că „Interpretarea de la Copenhaga" pleca de la un paradox, și anume de la acela că experiențele noastre sînt descrise în termeni de fizică clasică, deși sîntem conștienți că aceste concepte nu se adaptează perfect naturii. Dezacordul între aceste două puncte de plecare este izvorul caracterului statistic al mecanicii cuantice. Acesta este motivul pentru care s-a sugerat cîteodată că ar fi necesară o îndepărtare totală de conceptele clasice și că o schimbare revoluționară a conceptelor folosite pentru descrierea experiențelor noastre ar putea să ne ducă eventual la o descriere nestatistică și complet obiectivă a naturii.

Această ipoteză se bazează însă pe o eroare de interpretare. Conceptele fizicii clasice nu sînt decît o subtili-

zare a conceptelor vieții zilnice și formează o parte esențială a limbajului care stă la baza tuturor științelor naturii. Situația noastră în știință este aceea că în timp ce folosim *de fapt* conceptele clasice pentru a descrie experiențele, mecanicii cuantice i se pune problema de a descoperi pe această bază o interpretare teoretică a experiențelor.

Nu e de nici un folos să discutăm ce s-ar putea face dacă am fi altfel de ființe. Am ajuns să înțelegem că, așa cum a spus-o Weizsäcker, *„Natura a precedat omul, dar omul a precedat științele Naturii"*. Prima parte a acestui citat justifică fizica clasică, cu idealul ei de obiectivitate totală, în timp ce partea a doua ne arată de ce nu putea scăpa de paradoxul teoriei cuantice, adică de necesitatea de a folosi conceptele clasice.

Este necesar să mai adăugăm cîteva comentarii asupra procesului folosit pentru interpretarea cuantică a fenomenelor atomice. Am spus că plecăm întotdeauna de la o împărțire a lumii în obiect (acela pe care urmează să-l studiem) și restul lumii, și că această împărțire era, pînă la un anumit punct, arbitrară. Într-adevăr, dacă am adăuga, de exemplu, la acest obiect al experienței o parte sau ansamblul dispozitivului de măsură, și dacă am aplica acestui obiect mai complex legile cuantice, ei bine, acest fapt n-ar trebui să schimbe absolut de loc rezultatul final. Se poate dovedi că o asemenea modificare a raționamentului teoretic nu ar schimba previziunile privind o experiență dată. Această concluzie rezultă matematic din faptul că legile cuantice sînt aproape identice cu legile clasice în fenomenele în care constanta lui Planck poate fi considerată ca foarte mică. Ar fi însă o eroare să credem că această aplicare a legilor cuantice la dispozitivul de măsură ar putea să ne ajute ca să evităm paradoxul fundamental al teoriei cuantice.

Dispozitivul de măsură nu merită acest nume decît dacă este în contact strîns cu restul lumii, adică dacă există interacțiune între el și observator. Rezultă că incertitudinea în comportarea microscopică a lumii va apărea în sistemul cuantic atît în acest caz, cît și în acela conform primei interpretări.

Dacă dispozitivul de măsură ar fi izolat de restul lumii, el n-ar mai fi un dispozitiv de măsură, astfel că ne-ar fi imposibil să-l descriem cu ajutorul fizicii clasice.

În legătură cu aceasta, Bohr a subliniat că ar fi mai realist să spunem că împărțirea între obiect și restul lumii nu e arbitrară. De fapt, atunci cînd facem cercetări în domeniul atomic ne găsim, de obicei, în fața următoarei situații : dorim să înțelegem un anumit fenomen și să știm cum poate fi dedus acest fenomen din legile naturii. În consecință, porțiunea de materie sau de radiație care participă la fenomen este „obiectul" natural, căruia ar urma să-i aplicăm mecanismul cuantic și care ar trebui să fie separat în acest sens de instrumentele folosite pentru studierea fenomenului. Aceste considerații scot din nou în evidență un element subiectiv al descrierii fenomenelor atomice, deoarece dispozitivul de măsură a fost construit de observator. Trebuie să reamintim că ceea ce observăm nu este natura în sine, ci natura expusă metodei noastre de investigație. În fizică, munca noastră constă din punerea de întrebări privind natura, în limbajul pe care-l posedăm, precum și din încercarea de o obține printr-o experiență un răspuns, cu ajutorul mijloacelor de care dispunem. Teoria cuantică ne conduce, așa cum a spus-o Bohr, la vechea înțelepciune care cere ca atunci cînd încercăm să introducem armonia în viață, să nu uităm niciodată că în tragedia existenței sîntem în același timp și actori și spectatori. Este ușor de înțeles că în relațiile noastre științifice cu natura, propria noastră acțiune capătă o mare importanță de fiecare dată cînd este vorba de domenii ale naturii în care nu putem pătrunde decît prin folosirea instrumentelor celor mai perfecționate.

Extras din *Physique et Philosophie, La Science moderne en revolution.* Tradus din engleză de d-ra Jacqueline Hadamard. Publicat de editura Albin Michel, în 1961, în colecția „Les savants et le monde", condusă de dl. André George. Ediția originală a apărut sub titlul : *Physics and Philosophy,* Harper and Brothers, New York.

Schimbarea atitudinii savantului față de natură

Vom începe printr-o trecere în revistă retrospectivă care se extinde pînă la rădăcinile istorice ale științelor moderne ale naturii. Atunci cînd această știință a fost fundată în secolul al XVII-lea de Kepler, Galilei și Newton, mai persista încă acea imagine a naturii din evul mediu care vedea în natură, mai presus de orice, creația lui Dumnezeu. Natura era considerată drept opera Domnului. A pune întrebări asupra lumii materiale, fără a ține seama de Dumnezeu, li s-ar fi părut oamenilor din vremea aceea un lucru lipsit de semnificație. Drept document al timpului aș vrea să citez cuvintele cu care Kepler își termină ultimul volum al *Armoniei cosmice* : *„Îți mulțumesc Dumnezeule, Creatorul nostru, că mi-ai îngăduit să văd frumusețea creației tale și să mă bucur de operele mîinilor tale. Iată, am terminat opera spre care m-am simțit chemat și am pus în valoare talentul pe care mi l-ai dat. Am făcut cunoscută măreția operelor tale și, în măsura în care spiritul meu mărginit a putut să le înțeleagă, oamenii vor citi în această lucrare mărturiile"*.

În cîteva zeci de ani însă, atitudinea omului față de natură s-a schimbat fundamental. Pe măsură ce savantul pătrundea în amănuntele fenomenelor naturii, el înțelegea într-adevăr, așa cum începuse Galilei s-o facă, că din ansamblu puteau fi desprinse anumite fenomene ale naturii, formulîndu-le matematic și deci „explicîndu-le".

El recunoştea totuşi, în acelaşi timp, imensa sarcină care se impunea ştiinţelor naturii, pe cale să se nască.

Pentru Newton, deja, universul nu mai era doar opera lui Dumnezeu, susceptibil de conceput numai ca o totalitate. Atitudinea lui faţă de natură este exprimată cel mai bine prin aceste vorbe celebre : *„Aveam impresia că eram ca un copil care, jucîndu-se pe malul mării, era fericit să găsească din cînd în cînd cîte o pietricică rotundă, mai netedă şi mai lucioasă, o scoică mai frumoasă decît celelalte, în timp ce nemărginitul ocean al adevărului se întindea necercetat în faţa lui"*.

Schimbarea de atitudine a savantului faţă de natură ar putea fi explicată prin dezvoltarea gîndirii creştine din epoca aceea. Dumnezeu părea aşa de sus în cer şi aşa de departe deasupra pămîntului, încît considerarea pămîntului independent de Dumnezeu putea să capete şi ea un sens. În ceea ce priveşte ştiinţele moderne ale naturii, avem chiar dreptul să vorbim de o formă specific creştină de impietate, al cărei ecou poate fi găsit la Kamlah. Aceasta ne dă posibilitatea să înţelegem motivul din care nici o evoluţie asemănătoare nu s-a produs în alte culturi. Probabil că nu din întîmplare natura a devenit, tocmai la vremea aceea, subiect al reprezentării artistice, independent de tema religioasă. A considera natura nu numai în afara lui Dumnezeu, ci şi în afara omului, astfel ca să se nască drept scop suprem descrierea sau explicarea „obiectivă" a naturii, corespunde complet acestei tendinţe. Trebuie subliniat totuşi că pentru însuşi Newton, scoica avea importanţă fiindcă ieşea din marele ocean al adevărului. Observarea scoicii nu este încă un scop în sine : a te consacra studiului ei nu capătă un sens decît prin coerenţa ansamblului.

În anii care au urmat, metoda mecanicii newtoniene a fost folosită cu succes în domenii din ce în ce mai extinse ale naturii. Se încerca, cu ajutorul experienţelor, ca din fenomenele naturii să se desprindă anumite părţi, care să fie observate obiectiv, pentru a fi înţelese potrivit cu „legile" valabile fără restricţii în cosmosul luat ca un întreg. A devenit posibil astfel, în cele din

urmă, să se folosească forţele naturale în scopuri tehnice. Dezvoltarea grandioasă a mecanicii secolului al XVIII-lea stă mărturie a puterii acestor prime încercări.

Transformarea semnificaţiei termenului „natură"

În măsura în care această ştiinţă era înconunată de succes, ea se extindea dincolo de experienţa cotidiană, pînă la acele domenii îndepărtate ale naturii pe care putea să le facă accesibile doar o tehnică care se dezvolta concomitent cu ştiinţele naturii. Newton făcuse şi el pasul hotărîtor înţelegînd că aceleaşi legi care guvernează căderea unei pietre determină mişcarea Lunii în jurul Pămîntului, astfel că ele puteau fi aplicate şi la dimensiunile cosmice.

Şi apoi, ştiinţa îşi începu marşul triumfal în acele domenii îndepărtate ale naturii despre care nu ne putem informa decît prin intermediul tehnicii, adică prin intermediul unor aparate mai mult sau mai puţin complicate. Telescoape perfecţionate permiteau astronomiei să pună stăpînire pe spaţii cosmice din ce în ce mai vaste, prin observarea comportării materiei în reacţiile chimice, chimia încerca să recunoască fenomenele care se petreceau la nivelul atomilor, iar experienţele ce se făceau cu bobina de inducţie şi cu pila lui Volta permiteau pentru prima dată o privire generală asupra fenomenelor electrice, încă necunoscute în viaţa zilnică de pe atunci.

În măsura în care natura este un obiect al cercetării ştiinţifice, semnificaţia termenului „natură" s-a schimbat. Natura a devenit numele colectiv al tuturor domeniilor experienţei în care omul poate avea acces cu ajutorul ştiinţei şi al tehnicii, independent de faptul dacă pentru experienţa imediată aceste domenii erau socotite sau nu drept „natură".

Termenul „descriere" a naturii a început să piardă şi el, progresiv, semnificaţia lui primară de reprezentare vie şi frapantă a naturii. El căpăta din ce în ce mai mult sensul de descriere matematică, adică de cea mai precisă şi mai condensată, dar şi cea mai completă colecţie de

informații asupra raporturilor sau legilor existente în natură.

Nu era deocamdată cazul să se considere această extindere a conceptului „natură" drept o părăsire, principială, a scopurilor primare ale științei, fiindcă principiile de bază și determinante ale exeprienței lărgite rămîneau cele ale experienței naturale. În secolul al XVIII-lea, natura părea că se dezvoltă în spațiu și în timp, potrivit unor legi, și descriind această dezvoltare, se putea face abstracție de om și de intervenția lui, dacă nu în mod practic, cel puțin în principiu.

Drept element constant în evoluția fenomenelor era considerată materia, cu masa ei inalterabilă, care putea fi pusă în mișcare de forțe. Experiențele chimice întreprinse și interpretate cu succes, începînd cu secolul al XVIII-lea, datorită ipotezei atomului împrumutată de la filozofii antichității, au dat posibilitatea să se înțeleagă că atomii apăreau, ca și în filozofia antică a naturii, ca fiind de fapt pietrele de construcție inalterabile ale materiei. Ca și în filozofia lui Democrit, calitățile sensibile ale materiei erau considerate drept aparente : mirosul sau culoarea, temperatura sau duritatea nu erau în realitate proprietăți ale materiei, ci rezultau din interacțiunile materiei cu simțurile noastre. Aceste calități trebuiau explicate prin aranjamentul și mișcarea atomilor și prin efectul acestui aranjament asupra simțurilor noastre. Astfel a luat naștere imaginea simplificată a universului după concepția materialismului secolului al XIX-lea : atomii — în măsura în care constituie realitatea inalterabilă propriu-zisă — se mișcă în spațiu și în timp, și provoacă, prin dispoziția și prin mișcările lor reciproce, variatele fenomene ale universului nostru sensibil.

Criza concepției materialiste

În cursul celei de-a doua jumătăți a secolului trecut, această imagine a universului a fost zdruncinată pentru prima dată — dar nepericulos deocamdată — de către dezvoltarea științei electricității, care considera cîmpul elec-

tric drept *realul* propriu-zis, şi nu materia. O acţiune reciprocă între cîmpuri electrice, fără o substanţă-suport al forţelor, era ceva mai greu de înţeles decît reprezentarea materialistă a realităţii potrivit fizicii atomului. In imaginea lumii, care părea aşa de clară în toate celelalte domenii, intra un element abstract şi neevident. Se încerca, aşadar să se revină — cu ajutorul eterului material, care trebuia să poarte aceste cîmpuri electrice — la concepţia mai simplă a materiei, proprie filozofiei materialiste, dar fără nici un succes.

Exista totuşi o consolare în ideea că modificările cîmpurilor electrice puteau fi considerate şi ele ca nişte procese desfăşurîndu-se în spaţiu şi în timp, că aceste cîmpuri puteau fi descrise obiectiv, adică fără referire la modul în care se făcea observaţia, şi că ele corespundeau astfel imaginii ideale în general admisă a unei dezvoltări în spaţiu şi în timp, potrivit legilor. Ceva mai mult, cîmpurile electrice, observabile numai în acţiunea lor reciprocă cu atomii, puteau fi considerate ca provocate de aceştia, astfel că într-un anumit sens ele puteau fi folosite pentru a explica mişcarea atomilor. În aceste condiţii, atomii rămîneau la urma urmei tot realitatea propriu-zisă. Spaţiul vid dintre atomi, în calitatea lui de suport al cîmpurilor electrice şi al geometriei, era considerat doar ca „un fel de realitate".

Pentru această imagine a universului, faptul că datorită descoperii, pe la sfîrşitul secolului trecut, a radioactivităţii, atomii chimici nu mai puteau fi consideraţi drept ultimele elemente indivizibile ale materiei, avea puţină importanţă. Atomii erau consideraţi mai degrabă compuşi din trei elemente fundamentale, pe care le numim astăzi protoni, neutroni şi electroni. Prin consecinţele sale practice, această descoperire a condus la transmutaţia elementelor şi la tehnica atomului, căpătînd prin aceasta o imensă importanţă. Însă chestiunea de principiu, şi anume aceea de a se şti dacă protonii, neutronii şi electronii trebuie consideraţi drept particulele elementare ale materiei şi drept realitate propriu-zisă, rămînea fără răspuns. Ceea ce importa pentru imaginea materialistă a universului era posibilitatea de a se recunoaşte

aceste infime pietre de construcție — particulele elementare — drept ultima realitate obiectivă. Această imagine, solid construită, a universului secolului al XIX-lea și al începutului secolului al XX-lea este așezată pe aceste baze și, datorită simplității ei, ea și-a păstrat, timp de mai multe zeci de ani, întreaga sa putere de convingere.

Dar tocmai în acest domeniu s-au produs în cursul secolului nostru modificări profunde ale fundamentelor fizicii atomului, modificări care ne îndepărtează de concepția realistă a filozofiei atomiste antice. Se spera că aceste particule elementare ar reprezenta realitatea obiectivă. S-a constatat însă că aceasta era o simplificare prea grosolană a faptelor reale și că, de aceea, ea trebuia să cedeze locul unor concepții mult mai abstracte. Fiindcă, dacă vrem să obținem o imagine a naturii acestor particule elementare, nu mai putem face abstracție de principiul existenței proceselor fizice care ne dau informații despre ele. Atunci cînd observăm obiecte ale vieții noastre de toate zilele, procesul fizic, care face posibilă observația, nu joacă decît un rol secundar, spre deosebire de particulele elementare ale materiei, la care procesul de observație provoacă perturbații considerabile, astfel că ne este imposibil să mai vorbim de comportarea particulei, fără să ținem seama de procesul de observație. În consecință, legile naturale pe care le formulăm matematic în teoria cuantelor nu mai privesc particulele elementare propriu-zise, ci cunoașterea pe care o avem despre ele.

Chestiunea de a ști dacă aceste particule există „prin ele însele" în spațiu și în timp nu mai poate fi pusă deci sub această formă. De fapt, nu putem vorbi decît de evenimente care se desfășoară atunci cînd prin acțiunea reciprocă a particulei cu indiferent ce alt sistem fizic, de exemplu cu instrumentele de măsură, încercăm să cunoaștem comportarea particulei.

Concepția realității obiective a particulelor elementare s-a dizolvat în mod ciudat nu în ceața unei noi concepții a realității, obscură sau rău înțeleasă, ci în lumina transparentă a unei matematici care nu mai reprezintă comportarea particulei elementare, ci cunoașterea pe care o avem despre această comportare. Campionii atomismu-

lui au trebuit să se aplece în fața faptului că știința lor nu este decît o verigă din lanțul infinit al dialogurilor dintre om și natură *și că ea nu mai poate vorbi în mod simplist despre o natură „în sine"*. Științele naturii presupun existența prealabilă a omului și, așa cum a spus Bohr, trebuie să ne dăm seama că în teatrul vieții nu sîntem numai spectatori, ci și actori.

Acțiunea reciprocă a tehnicii și a științelor naturii

Înainte de a vorbi de consecințele generale care decurg din această nouă situație a fizicii moderne, este necesar să evocăm dezvoltarea tehnicii, mult mai importantă pentru viața practică de pe pămînt și care se produce în paralel cu dezvoltarea științelor naturii. Plecînd din Occident, această tehnică a răspîndit științele naturii pe întregul pămînt, așezîndu-le în centrul gîndirii contemporane. În procesul acestei dezvoltări din cursul ultimelor două secole, tehnica a fost permanent condiția și consecința științelor naturii. Ea este condiția științelor naturii, fiindcă extinderea și aprofundarea științei nu se pot produce adesea decît prin perfecționarea mijloacelor de observație. Este suficient să ne gîndim la invenția lunetei și a microscopului sau la descoperirea radiațiilor Roentgen. Ea este, pe de altă parte, și consecința științelor naturii, fiindcă exploatarea tehnică a forțelor naturale nu devine, în general, posibilă decît datorită unei cunoașteri aprofundate în domeniul experienței respective.

În felul acesta s-a dezvoltat, în secolul al XIX-lea și la începutul secolului al XX-lea, o tehnică bazată pe exploatarea fenomenelor mecanice. În aceste cazuri, mașina nu face altceva decît să imite mîna omului, fie că e vorba de tors sau de țesut, de ridicarea greutăților sau de forjarea marilor blocuri de fier. Din această cauză, această formă a tehnicii a fost considerată mai întîi ca o continuare și dezvoltare a vechiului artizanat. Pentru neinițiați, ea apărea tot așa de ușor de înțeles și de evi-

dentă ca și vechile războaie de țesut, ale căror principii

de funcționare erau cunoscute de toată lumea, deși dibăcia cu care lucrau nu putea fi imitată. Chiar introducerea mașinii cu abur n-a schimbat deocamdată, cel puțin în principiu, nimic din caracterul tehnicii. Însă începînd cu această introducere, tehnica s-a dezvoltat în proporții necunoscute pînă atunci, fiindcă acum forțele naturale concentrate în cărbune puteau fi puse la dispoziția omului, ca să înlocuiască munca manuală.

O dezvoltare hotărîtoare a caracterului tehnicii nu s-a produs totuși decît o dată cu dezvoltarea electrotehnicii în cea de-a doua jumătate a secolului trecut. Nu se mai putea vorbi în acest caz de o legătură directă cu vechile războaie de țesut, ci de exploatarea unor forțe naturale care, reduse la experiența directă, erau aproape necunoscute omului. Aceasta este cauza pentru care electricitatea mai rămîne încă înspăimîntătoare pentru o mulțime de oameni sau, cel puțin, de neînțeles, deși ea ne înconjură din toate părțile.

Este adevărat că un cablu de înaltă tensiune, de care este periculos să ne apropiem, ne dă, într-o anumită măsură, noțiunea de cîmp electric, însă, în fond, acest domeniu al naturii ne rămîne încă necunoscut. A privi în interiorul unui aparat electric complicat ne este cîteodată tot așa de penibil ca și a asista la o operație chirurgicală.

De asemenea, și tehnica chimiei ar putea fi considerată ca o continuare a unor anumite meserii vechi, ca, de exemplu, vopsitoria, tăbăcăria și farmacia. Dar și în acest caz, extinderea noii tehnici a chimiei, dezvoltată către începutul acestui secol, nu ne mai îngăduie nici o comparație cu ceea ce a fost odată.

În fine, în ceea ce privește tehnica atomului, este vorba de exploatarea unor forțe ale naturii la care nu avem acces prin nici o experiență a lumii naturale. Este posibil ca această tehnică să devină și pentru noi tot așa de familiară ca și electrotehnica pentru omul de pe stradă, căruia i se va părea de neconceput să n-o găsească în lumea care îl înconjură direct. Dar, chiar și lucrurile care ne înconjură în viața de toate zilele nu devin, datorită acestui fapt, *o parte a naturii*, în sensul originar al cuvîntului. În viitor, numeroasele aparate tehnice vor

deveni poate tot așa de nedespărțit de om ca și cochilia, de melc, și pînza, de păianjen. Dar și în acest caz *aceste aparate vor fi mai degrabă părți ale organismului omenesc,* decît părți ale naturii înconjurătoare.

Intervenția tehnicii în raporturile dintre natură și om

Intervenția tehnicii în raporturile dintre natură și om se manifestă prin aceea că ea transformă pe scară largă lumea înconjurătoare, arătîndu-i omului neîncetat și inevitabil aspectul științific al universului. Tehnica reflectă năzuința științei de a pătrunde în cosmos cu ajutorul unei metode capabile să desprindă și să examineze amănuntul, mergînd în felul acesta din raport în raport. Pas cu pas, ea înaintează în domenii noi și transformă sub ochii noștri lumea înconjurătoare, însemnînd-o cu pecetea umană.

După cum în științele naturii fiecare chestiune de amănunt se subordonează marii sarcini de înțelegere a naturii în ansamblul ei, tot așa un progres tehnic cît de mic servește scopului general : mărirea puterii materiale a omului. Valoarea acestui scop este tot așa de puțin discutabilă ca și valoarea cunoașterii naturii pentru știință. Aceste două scopuri se reunesc în formula banală : „a ști înseamnă a putea".

Deși subordonarea fiecărui proces tehnic particular la scopul general poate fi susținută, totuși, pentru dezvoltarea integrală este caracteristic faptul că procesele tehnice particulare sînt legate adesea de scopul general într-un mod așa de indirect, încît nu mai pot fi considerate aproape de loc drept părți ale unui plan conștient elaborat în acest scop. În aceste cazuri, tehnica aproape că nu mai apare ca un produs al eforturilor conștiente ale omului în vederea măririi puterii lui materiale, ci, mai degrabă, ca un fenomen biologic pe scară largă, în decursul căruia structurile interne ale organismului uman sînt transferate din ce în ce mai mult în lumea înconjurătoare. Avem

de-a face deci cu un proces biologic care, prin însăşi natura lui, este sustras de sub controlul omului, fiindcă *„chiar dacă omul poate face ce vrea, el nu poate voi ceea ce vrea"*.

Tehnica şi transformarea modului de viaţă

S-a spus adesea că transformarea profundă pe care era tehnicii o aduce lumii noastre înconjurătoare şi modului nostru de viaţă a modificat de asemenea, şi într-un mod periculos, gîndirea noastră, şi că în acest fapt trebuie căutat izvorul crizelor care zdruncină vremea noastră şi care se fac simţite, de exemplu, în arta modernă. La drept vorbind, această învinuire este anterioară tehnicii şi ştiinţelor naturii din timpurile moderne. Sub o formă primitivă, tehnica şi maşinile existau de multă vreme, astfel că oamenii trecutului au fost şi ei obligaţi să mediteze asupra acestor probleme. Sînt două milenii şi jumătate, de exemplu, de cînd savantul chinez Dschu Ang Dsi vorbea de pericolul pe care-l reprezenta folosirea maşinilor pentru om. Aş vrea să citez aici un pasaj din scrierile sale, care este important pentru subiectul nostru.

„Pe cînd Dsi Gung străbătea regiunea de la nord de rîul Han, văzu un om bătrîn lucrînd în grădina lui de zarzavat, în care construise canale de irigaţie. Bătrînul cobora în puţuri şi urca în braţele sale un vas plin cu apă pe care-l golea în canale. Deşi se străduia din toate puterile, munca lui era de puţin folos.

Dsi Gung spuse : există un mijloc de a iriga o sută de canale într-o singură zi. Cu puţină osteneală, poţi ajunge la rezultate însemnate. Nu vrei să-l foloseşti ?

Grădinarul se ridică, îl privi şi spuse : Şi care este mijlocul acesta ?

Dsi Gung spuse : iei o pîrghie de lemn, grea spre coadă şi uşoară în partea din faţă. Aşa poţi scoate apa din adîncime.

Pe faţa moşneagului se arătă mînia, şi el răspunse cu un rîset :

L-am auzit pe magistrul meu spunînd : acela care foloseşte maşinile îşi face treburile ca o maşină. Acela

care-şi face treburile ca o maşină capătă o inimă de maşină. Iar acela care are o inimă de maşină în pieptul lui îşi pierde nevinovăţia lui curată. Iar omul care şi-a pierdut nevinovăţia lui curată nu mai este sigur de impulsurile spiritului său. Nesiguranţa spiritului nu se poate împăca cu judecata adevărată. Nu că n-aş cunoaşte aceste lucruri, dar mi-ar fi ruşine să mă servesc de ele".

Fiecare dintre noi simte că această poveste de demult conţine o parte însemnată de adevăr, fiindcă „nesiguranţa în impulsurile spiritului" este poate expresia care descrie în modul cel mai izbitor starea oamenilor în criza actuală. Tehnica şi maşina au invadat lumea într-o măsură pe care înţeleptul chinez nu putea s-o bănuiască. Şi totuşi, minunate opere de artă au mai fost create cu două mii de ani mai tîrziu, iar nevinovăţia spiritului de care vorbeşte filozoful n-a fost niciodată cu totul pierdută, ci s-a manifestat cu mai multă sau mai puţină forţă în cursul secolelor următoare, fără să înceteze a fi fecundă. Într-un cuvînt, ridicarea la un nivel superior a rasei umane s-a produs datorită uneltelor. Nu i se poate imputa deci tehnicii în sine pierderea simţului de coeziune a ansamblului, observată în multe domenii.

Ne vom apropia poate de adevăr, imputînd responsabilitatea pentru numeroasele complicaţii care s-au ivit, dezvoltării neaşteptate şi rapide (în comparaţie cu transformările anterioare) a tehnicii în cursul ultimilor cincizeci de ani. Într-adevăr, această dezvoltare rapidă, în comparaţie cu secolele trecute, n-a lăsat pur şi simplu omenirii timpul să se adapteze noilor condiţii de viaţă. Dar chiar şi acest fapt nu explică de loc, sau explică numai în parte, motivul pentru care epoca noastră se află evident înaintea unei situaţii noi, care nu-şi găseşte asemănare în istorie.

De acum înainte omul se află singur, cu el însuşi

Am spus de la început, că transformarea fundamentelor ştiinţei moderne a naturii ar putea fi considerată ca un simptom al schimbării bazelor existenţei noastre,

schimbare care se manifestă simultan în multe domenii, fie că este vorba de modificări ale modului nostru de viață și ale deprinderilor noastre de a gîndi, sau de catastrofe externe ca războaiele sau revoluțiile. Dacă încercăm ca, pornind de la situația științelor moderne ale naturii, să înaintăm pas cu pas către temeliile mișcătoare, putem spune, fără să avem impresia că simplificăm prea grosolan împrejurările, că *pentru prima dată în cursul istoriei, omul se găsește singur, cu el însuși, pe acest pămînt,* fără partener și fără adversar.

Această afirmație reprezintă un adevăr banal, atunci cînd este vorba de lupta omului contra pericolelor exterioare. În trecut, omul era amenințat de animalele sălbatice, de boli, de foame, de frig și de alte forțe naturale, iar în această luptă orice îmbunătățire a tehnicii însemna o întărire a poziției lui, adică un progres. În epoca noastră, cînd populația pămîntului se face din ce în ce mai deasă, restrîngerea posibilităților de viață, și deci și pericolele, sînt provocate, în primul rînd, de ceilalți oameni, care își revendică și ei dreptul la bunurile pămîntului. În această situație însă, dezvoltarea tehnicii nu mai este în mod necesar un progres. Expresia *„omul se află singur cu el însuși"* are o aplicație mult mai mare în era tehnicii.

Altădată, omul stătea față în față cu natura locuită de făpturi de toate soiurile. Natura constituia un regat care trăia după legile sale proprii, la care omul trebuia să se adapteze într-un fel sau altul. Astăzi, trăim într-o lume așa de adînc transformată de om, încît la fiecare pas întîlnim structurile al căror autor este el : folosirea instrumentelor în viața de toate zilele, pregătirea hranei de către mașini, transformarea peisajului etc., astfel că omul nu se întîlnește decît pe el însuși.

Mai există, fără-ndoială, părți ale pămîntului unde acest proces este încă departe de a fi fost terminat, însă, mai curînd sau mai tîrziu, stăpînirea omului va trebui să fie totală.

Această situație nouă apare mai clar în știința modernă a naturii. După cum am arătat și mai sus, ea ne arată că nu mai putem considera drept „lucru în sine" pietre-

le de construcție ale materiei, care erau considerate la început drept realitatea obiectivă ultimă și care se sustrag oricărei fixări obiective în spațiu și în timp, și că în fond nu dispunem, drept singur obiect al științei, decît de cunoașterea pe care o avem despre aceste particule.

Cunoașterea atomilor „în sine", adică independent de observația experimentală, nu mai este deci scopul cercetării. Ne găsim mai degrabă, de la început, în cadrul unui dialog între natură și om, dialog din care știința nu reprezintă decît o parte, astfel că împărțirea convențională a lumii în subiect și obiect, în lume interioară și lume exterioară, în corp și suflet nu mai poate fi folosită și ridică dificultăți. Pentru științele naturii, de asemenea, *subiectul cercetării nu mai este deci natura în sine, ci natura expusă întrebărilor omului*, astfel că, și în acest domeniu, omul nu se întîlnește din nou decît cu el însuși.

Este evident că sarcina epocii noastre este acomodarea la această nouă situație, în toate domeniile vieții, și că omul nu va putea să-și regăsească *„siguranța în impulsurile spiritului"* despre care vorbește savantul chinez, decît după ce această sarcină va fi fost îndeplinită. Drumul care duce spre acest scop va fi lung și dureros, și nu putem ști prin ce etape de suferință vom trebui să trecem. Pentru a afla cîteva indicii despre particularitățile acestui drum, ne luăm permisiunea să reamintim exemplul științelor exacte ale naturii.

Un nou concept al adevărului științific

În teoria cuantică s-a acceptat situația descrisă mai sus de îndată ce a fost posibil să fie formulată matematic, ceea ce a permis să se prevadă cu precizie rezultatul unei experiențe, fără riscul unei contradicții logice. De îndată ce s-a înlăturat tot ce era nelămurit, noua situație a fost deci acceptată.

Din momentul acela, formulele matematice nu mai reprezentau natura, ci cunoașterea noastră despre natu-

ră. Aceasta înseamnă că am renunțat la descrierea naturii așa cum era practicată de secole, descriere care — nu cu mai mult de cîteva zeci de ani înainte — era considerată drept scopul normal al oricărei științe exacte. Deocamdată, trebuie să ne mărginim a spune că această acceptare se extinde numai la domeniul fizicii atomului, din cauză că avem posibilitatea să descriem exact experiențele. Imediat ce este vorba însă de interpretarea filozofică a teoriei cuantelor, părerile diferă. Auzim spunîndu-se, atunci cînd se prezintă ocazia, că această formă nouă de descriere a naturii este deocamdată nesatisfăcătoare fiindcă nu corespunde vechiului ideal al adevărului științific, că ea este un simptom al crizei actuale și că, în orice caz, nu este definitivă.

Fiindcă a venit vorba de aceasta, ar fi util să examinăm conceptul *„adevărului științific"* într-un mod mai general, pentru a găsi criteriile unei cunoașteri științifice coerente și definitive. Să începem cu un criteriu mai degrabă exterior. Atîta vreme cît un domeniu oarecare al vieții intelectuale se dezvoltă în mod constant și fără discontinuitate internă, omului care lucrează în acest domeniu i se pun diverse chestiuni de detaliu, care sînt, ca să spunem așa, doar niște chestiuni tehnice, a căror soluție nu este o problemă în sine, dar care are o valoare din punctul de vedere al coeziunii marelui ansamblu, singurul cu adevărat important. Aceste chestiuni de detaliu se pun de la sine, fără să fie nevoie ca noi să le provocăm, iar a lucra la soluția lor este condiția de a colabora la ansamblu. Așa s-a întîmplat cînd sculptorii evului mediu s-au silit să redea cît mai exact posibil cutele unui veșmînt : soluția acestei probleme de detaliu era necesară fiindcă cutele veșmîntului unui sfînt făceau parte din ansamblul religios spre care se năzuia.

Asemenea chestiuni de detaliu s-au pus și se pun permanent în știința modernă a naturii, iar răspunsul care li se dă este o condiție a înțelegerii ansamblului. În cursul dezvoltării care s-a produs în ultimii cincizeci de ani, aceste chestiuni s-au pus de la sine, iar scopul permanent a fost același mare ansamblu al legilor naturale.

Din acest punct de vedere nu există nici un motiv exterior ca în știința exactă a naturii să se producă vreo soluție de continuitate.

În ceea ce privește rezultatele definitive însă, trebuie reamintit că, în sfera științei exacte a naturii, nu a existat niciodată soluție definitivă decît în anumite domenii limitate de experiență. Problemele pe care le pot pune conceptele mecanicii newtoniene, de exemplu, și-au găsit o soluție definitivă în legile lui Newton și în concluziile matematice care au rezultat din ele. Aceste soluții nu depășesc însă conceptele mecanicii newtoniene și chestiunile pe care aceste concepte le pun. Din această cauză, știința electricității, de exemplu, nu a mai fost accesibilă unei analize bazate pe aceste concepte. În cursul cercetărilor făcute în acest domeniu nou al experienței, au trebuit să fie elaborate noi sisteme conceptuale, cu ajutorul cărora legile naturale ale științei electricității au putut să capete o formulare matematică definitivă.

Termenul „definitiv", aplicat științelor exacte ale naturii, înseamnă deci că există sisteme de concepte și de legi care formează o totalitate închisă, care pot fi formulate matematic și care sînt valabile pentru anumite domenii ale experienței. În aceste domenii, sistemele de concepte și de legi au o valabilitate universală și nu sînt apte să sufere nici transformări, nici ameliorări. Firește că nu putem spera ca ele să reprezinte mai tîrziu noi domenii ale experienței. Conceptele și legile teoriei cuantice nu pot, nici ele, să fie numite definitive decît în acest sens limitat. Și doar în acest sens limitat, și numai în acest sens, cunoașterea științifică va putea ajunge să fie fixată definitiv într-un limbaj matematic sau altul.

Într-un mod analog, anumiți filozofi ai dreptului admit că deși dreptul există veșnic, totuși, pentru fiecare caz juridic ar trebui găsită în principiu o nouă lege, că legea scrisă nu poate fi aplicată decît în domenii limitate ale vieții și că de aceea ea nu poate avea o valabilitate permanentă. Științele exacte ale naturii pleacă și ele de la ideea că pînă la urmă ne va fi posibil să înțelegem natura în fiecare nou domeniu al experienței, însă cum sensul termenului „a înțelege" nu a fost fixat *a priori*,

cunoaşterea naturii, formulată matematic pentru epoci anterioare, nu este întotdeauna aplicabilă, deşi este considerată ca „definitivă".

Această stare de lucruri face de asemenea imposibilă fundarea pe cunoaşterea ştiinţifică a profesiunilor de credinţă destinate să influenţeze comportarea noastră în viaţă. Motivarea lor nu s-ar putea baza decît pe o cunoaştere ştiinţifică definitivă, care însă nu se poate aplica decît la domenii limitate ale experienţei. Profesiunile de credinţă exprimate în vremea noastră, care încep adesea prin a afirma că în ele nu este vorba de credinţă, ci de o cunoaştere bazată pe ştiinţă, conţin deci o contradicţie internă şi sînt clădite pe o autoiluzie.

Şi totuşi, această constatare nu trebuie să ne conducă la subestimarea soliditătii fundamentului pe care stă aşezat edificiul ştiinţelor exacte ale naturii. Conceptul de adevăr ştiinţific, care este fundamentul acestor ştiinţe, poate include în el numeroase moduri de a înţelege natura. În afară de ştiinţele naturii din secolele trecute, acest concept cuprinde de asemenea şi fizica modernă. Rezultă că avem posibilitatea să ne acordăm unei stări de cunoaştere în care obiectivizarea naturii nu mai este posibilă, dar în care putem totuşi stabili raporturi cu ea.

Dacă ne este permis să vorbim de o imagine a naturii conformă cu ştiinţele exacte ale vremii noastre, atunci trebuie să înţelegem prin ea nu atît imaginea naturii, *cît imaginea raporturilor noastre cu natura.* Vechea împărţire a universului într-o dezvoltare obiectivă în spaţiu şi timp pe de o parte, şi într-un spirit care reflectă această dezvoltare pe de altă parte — împărţire care corespunde aceleia a lui Descartes în ***res cogitans*** şi ***res extensa*** — nu mai este potrivită ca să ne servească drept punct de plecare atunci cînd vrem să înţelegem ştiinţele moderne ale naturii.

Scopul central al acestor ştiinţe este mai presus de toate reţeaua raporturilor dintre om şi natură. Datorită acestor raporturi, noi sîntem — în calitatea noastră de fiinţe fizice vii — părţi dependente de natură, în timp ce — în calitatea noastră de oameni — reprezentăm obiectul gîndirii şi al acţiunilor noastre. Începînd de a mai fi un spectator al naturii, ştiinţa se recunoaşte şi ea drept

parte a acțiunilor reciproce dintre natură și om. Metoda științifică, care selecționează, explică și ordonează, acceptă limitele care i-au fost impuse, prin faptul că folosirea metodei îi transformă obiectul și că de aceea metoda nu se mai poate despărți de obiectul ei. Aceasta înseamnă că *imaginea universului conformă cu științele naturii încetează — la drept vorbind — de a mai fi o imagine a universului conformă cu științele naturii.*

Sîntem conștienți de pericolul situației noastre

Faptul că am clarificat aceste paradoxuri într-un domeniu științific restrîns nu prezintă un folos prea mare pentru situația generală a epocii noastre, în care, pentru a relua formula noastră simplificată, ne aflăm singuri cu noi înșine. Speranța într-un progres sigur, datorită puterii materiale și spirituale a omului, își găsește o limită chiar în această situație, deși nu putem face altceva decît s-o întrezărim. Pericolele sînt cu atît mai mari, cu cît valul de optimism care ne face să credem în acest progres se lovește mai tare de această limită. O altă metaforă va face poate ca acest pericol să devină și mai evident. Datorită unei creșteri, în aparență nelimitată, a puterii ei materiale, omenirea se află în situația unui căpitan a cărui navă ar fi construită dintr-o cantitate așa de mare de oțel și fier, încît busola compasului lui, în loc să indice nordul, nu s-ar orienta decît spre masa metalică a navei. O asemenea navă n-ar ajunge nicăieri. Expusă vînturilor și curenților, singurul lucru pe care l-ar putea face ar fi acela de a se învîrti într-un cerc.

Să revenim însă la fizica modernă. La drept vorbind, pericolul subzistă atîta timp cît căpitanul nu știe că compasul lui nu mai reacționează la forța magnetică a Pămîntului. În clipa cînd înțelege acest lucru, pericolul este îndepărtat pe jumătate. Fiindcă acel căpitan care nu va dori să se-nvîrtească în cerc, ci să atingă o țintă cunoscută sau necunoscută, va găsi un mijloc ca să-și conducă nava, fie folosind noile compasuri moderne care nu reacționează la masa de fier a vasului, fie orientîndu-se după

stele, așa cum se făcea pe timpuri. Este adevărat că vizibilitatea stelelor nu depinde de noi și că, poate, în vremea noastră nu le vedem decît rareori, însă, în orice caz, faptul că sîntem conștienți de limitele speranței pe care o exprimă credința în progres conține dorința de a nu ne învîrti în cerc, ci de a atinge o țintă. În momentul în care recunoaștem această limită, ea devine primul punct fix, care ne permite o nouă orientare. Comparația cu științele moderne ale naturii ne permite poate să sperăm că avem de-a face cu limita unor anumite forme de dezvoltare din domeniul vieții omenești și nu cu o limită a vieții propriu-zise. Spațiul în care se dezvoltă omul în calitatea lui de ființă spirituală are mai multe dimensiuni în comparație cu singura dimensiune în care s-a dezvoltat activitatea lui în cursul ultimelor secole. S-ar putea conchide că după perioade îndelungate de timp, acceptarea conștientă a acestei limite va conduce la o anumită stabilizare, în care cunoștințele și forțele creatoare ale omului se vor ordona de la sine în jurul unui centru comun.

Extras din *La nature dans la physique contemporaine*. Traducere a lui A. E. Leroy, apărută în 1962, la Editions Gallimard, în colecția „Idées".

Lexic parțial

Bozoni : Bozonul este o particulă care urmează statistica Bose-Einstein (cum este fotonul și mezonul). Legea statistică Bose-Einstein apare într-un ansamblu de particule, atunci cînd funcția de undă nu se schimbă prin intervertirea tuturor coordonatelor. Bozonii au spinuri întregi : 1, 2, 3 etc.

Fermioni : Fermionul este o particulă care urmează statistica Fermi-Dirac. Fermioni sînt electronii, nucleonii, miuonii, neutrinii, hiperonii. Legea lui Fermi—Dirac, care este și ea statistică, arată în primul rînd că particulele „fermioni" au un spin cu număr semiîntreg : 1/2, 3/2, 5/2 etc. Ea mai arată că doi fermioni nu pot ocupa aceeași stare cuantică și exprimă felul în care fermionii se distribuie într-un ansamblu.

Spin : Vine de la cuvîntul englezesc *to spin* (a se roti). Spinul este momentul cinetic propriu al unei particule (de exemplu, al electronului), sau al unui sistem de particule (de exemplu, al unui nucleu, atom etc.). Spinul este caracterizat nu numai de o valoare numerică, ci și de orientarea lui în spațiu (direcția lui în raport cu un sistem de referință). Unitatea de spin este $h/2\pi$. Particulele fundamentale (electroni, nucleoni, neutrini) au un spin numit semiîntreg, egal cu o semiunitate cuantică, adică cu $h/4.\pi$. In interacțiunile particulare, spinurile se adună sau se scad, după cum sînt paralele (adică atunci cînd particulele considerate se rotesc în același sens) sau antiparalele (atunci cînd o particulă se rotește într-un sens invers celeilalte).

Datorită spinului, particulele sînt dotate cu proprietăți magnetice : rotindu-se, ele se comportă ca niște mici magneți, ai căror poli sînt orientați aproximativ de-a lungul axei lor de rotație.

Subcuantic (mediu) : „Mediul subcuantic" ar fi oarecum însăși „urzeala" universului, un fel de rezervor din care s-ar condensa masa în procesele de „materializare" și în care această masă s-ar „topi" în timpul proceselor de „dematerializare". Mediul subcuantic ar fi materia (protomateria) sub forma ei cea mai „diluată" și substratul transformărilor de energie în masă, și invers. Dl. Louis de Broglie a vorbit despre un „freamăt de natură necunoscută" care se propagă în spațiu în cursul timpului. J. P. Vigier vorbește despre o „substanță submicroscopică haotică și extinsă". El scrie : *„La nivelul submicroscopic, ansamblul naturii ar putea fi asimilat unui fel de substanță materială unică, înzestrată cu mișcări turbionare și haotice violente. Corpusculele n-ar fi în acest caz nimic altceva decît niște unde de amplitudine slabă, comparabile, într-un anumit sens, cu undele sonore care se propagă în lichide. Dacă această ipoteză este corectă, am putea înțelege transformările corpusculelor unele în altele drept simple variații bruște ale stării ondulatorii a acestei substanțe".* Și adaugă : *„Potențialul cuantic introdus de de Broglie capătă astfel un sens nou. El reprezintă efectul fluctuațiilor haotice ale substanței fundamentale submicroscopice pe undele care se propagă acolo".* (În „Recherches Internationales", nr. 4. septembrie-octombrie 1957, *Physique*, pp. 157—158).

Empiriocriticism : Doctrina lui Avenarius și a lui Mach (Germania. secolul al XIX-lea), înrudită cu idealismul, pozitivismul și agnosticismul, conform căreia știința este numai o cunoaștere subiectivă și relativă. În timp ce Kant stabilea un compromis între materialism și idealism (doctrină conform căreia lumea exterioară, adică aceea a cunoașterii noastre, se reduce la reprezentările pe care le avem despre ea). Mach, plecînd și el de la critica kantiană, revine la Berkeley (idealism) și la Hume, al căror empirism deduce toate principiile cunoașterii din rațiunea umană care interpretează senzațiile din care experiența își trage originea.

Principalele opere ale lui Werner Heisenberg

1930 *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*
1943 *Physik der Atomkerne*
1943 *Vorträge über kosmische Strahlung*
1945 *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*
1955 *Das Naturbild der heutigen Physik*
1958 *Physics and Philosophy*, New York

Traduceri în limba franceză

1932 *Les principes physiques de la théorie des quanta*, Ed. Gauthier—Villars.
1954 *La Physique du noyau atomique*, traducere de Charles Peyron, prefață de Louis Leprince-Ringuet, colecția „Sciences d'Aujourd'hui", Ed. Albin Michel.
1961 *Physique et philosophie*, traducere de Jacqueline Hadamard, colecția „Les savants et le monde", Ed. Albin Michel.
1962 *La Nature dans la physique contemporaine*, colecția „Idées", Ed. Gallimard.

Bibliografie generală

(Lucrări consultate)

Auger Pierre, *L'homme microscopique*, Flammarion.

Berthelot André, *De l'atome à l'énergie nucléaire*, Buchet-Chastel.

Biquard Pierre, F., *Joliot-Curie et l'énergie atomique*, Seghers.

Bohr Niels, *Physique atomique et connaissance humaine*, Gonthier. *Les principes physiques de la théorie des quanta*, Gauthier-Villars.

Broglie Louis de, *La physique nouvelle et les quanta*, Flammarion. *Nouvelles perspectives en microphysique*, Albin Michel. *Sur les sentiers de la science*, Albin Michel.

Brillouin Léon, *Vie, matière, et organisation*, Albin Michel.

Charon J. E., *La connaissance de l'univers*, Ed. du Seuil. *Du temps, de l'espace, et des hommes*, Ed. du Seuil.

Chelet Yves, *L'énergie nucléaire*, Ed. du Seuil.

Cogniot Georges, *Lucrèce. De la nature des choses*, Ed. Sociales.

Costa de Beauregard O., *Le second principe de la science du temps*, Ed. du Seuil.

Cuny Hilaire, *La science nucléaire*, Buchet-Chastel, *L'atome*, Encyclopédie des Sciences. *Albert Einstein et la relativité*, Seghers. *Armes nucléaires*, Gedalge. *Frédéric et Irène Joliot-Curie*, Ed. Sociales.

Destouches J. L., *La physique mathématique*, P.U.F.

Ducrocq Albert, *L'atome*, Hachette.

Duquesne Maurice, *Matière et antimatière*, P.U.F.

Einstein Albert, *Conceptions scientifiques, morales, et sociales*, Flammarion. *La théorie de la relativité restreinte et générale*, Gauthier-Villars.

Infeld Léopold. *L'évolution des idées en physique*, Flammarion.

Engels, F., *Dialectique de la nature*, Ed. Sociales.

Gamow G., *La gravitation*, Payot.

Gladkov K., *L'énergie de l'atome*, Ed. en langues étrangères, Moscou.

Helmut, Carl. *Les secrets de la matière.* Sté Gle d'Edition.
Joliot-Curie, F., et I., *Oeuvres complètes,* P.U.F.
Jordan Pascual, *La physique et le secret de la vie organique,* Albin Michel.
Jungk Robert, *Plus clair que mille soleils,* Arthaud.
Kant Emmanuel, *Critique de la raison pure,* P.U.F.
Keller V., *L'univers des physiciens,* Ed. de la Paix, Moscou.
Kourganov Vladimir, *Initiation à la théorie de la relativité,* P.U.F.
Langevin Paul, *La pensée et l'action,* Ed. Sociales.
Leithauser Joachim, *Werner Heisenberg,* Colloquium Verlag, Berlin.
Lénine V., *Matérialisme et empiriocriticisme,* tome 14 des «Oeuvres complètes», Ed. Sociales.
Main D. M., *Introduction à la physique nucléaire,* P.U.F.
March Arthur, *La physique moderne et ses fonctions,* Gallimard.
Martin Ch., Noël, *L'univers dévoilé,* Plon.
Nahmias Maurice E., *L'énergie nucléaire,* Larousse.
Orcel Jean, *Atomes et cristaux,* Ed. Sociales.
Planck Max, *Initiation à la physique,* Gonthier. *Autobiographie scientifique,* Albin Michel.
Rouzé Michel, *Robert Oppenheimer et la bombe atomique,* Seghers.
Tchakhotine Serge, *Le viol des foules par la propagande politique,* Gallimard.
Vassiliev N. et Stanioukovitch K., *L'univers des sept éléments,* Ed. de la Paix, Moscou.
Weizsäcker Carl F., von. *Le monde vu par la physique,* Flammarion.

Lucrări colective

Histoire des sciences, Gallimard, coll. Pléiade.
Histoire générale des sciences (4 tomes), P.U.F.
La science contemporaine, Larousse.
Questions scientifiques, Physique, tome 1, 1952, Ed. de la Nouvelle critique.
Encyclopédie des sciences et des techniques, 3 volumes, Rombaldi.
La science contemporaine, 2 volumes, Larousse.
L'Encyclopédie française, Larousse, distributeur-éditeur.
Tome I : L'outilage mentale.
Tome II : La physique.
Recherches internationales à la lumière du marxisme, Physique, n° 4, sept.-oct. 1957.
Institut national de physique Solvay : Rapport et discussions du 5e Conseil, 1928.

Reviste

Sciences. — „La pensée".

Tabla de materii

1
Personalitatea lui Heisenberg 5

2
Heisenberg contra naziemului 20

3
Fizica atomică modernă 34

4
În nucleul atomului 63

5
Fizică şi filozofie 82

Texte alese 99

Cîteva cugetări ale lui Werner Heisenberg 101
Interpretarea de la Copenhaga 104
Problema naturii 117
Lexic parţial 135
Principalele opere ale lui Werner Heisenberg 137
Bibliografie generală (lucrări consultate) 138

Redactor: AUREL JOLTEA
Tehnoredactor: VICTORIA STĂNCULESCU

Dat la cules: 24.VI.1968. Bun de tipar: 24.IV.1969. Apărut: 1969. Tiraj: 3700+140+40 ex. legate. Hîrtie: scris I A. Format: 16/54×84. Coli editoriale: 7,41. Coli tipar: 9.—. A. 1530/1968. Indice de clasificare zecimală: pentru bibliotecile mari: 530.1; pentru bibliotecile mici: 53.

Întreprinderea Poligrafică „Informația" București, str. Brezoianu nr. 23—25. Republica Socialistă România. Comanda nr. 282

H. CUNY

Werner Heisenberg

și mecanica cuantică

Werner Heisenberg s-a născut în 1901, la Würzburg, oraș cu tradiții universitare. Se poate spune astfel că acest mare savant al zilelor noastre s-a născut odată cu fizica nouă, căreia de altfel el însuși i-a adus contribuții considerabile. Într-adevăr, la vîrsta de numai 24-25 de ani Heisenberg avea să elaboreze bazele mecanicii cuantice (numită și mecanica matricială, datorită utilizării matricilor din algebra necomutativă). Meritele științifice ale lui Heisenberg au fost în curînd recunoscute de întreaga lume științifică, deoarece nu împlinise încă 32 de ani cînd i s-a decernat Premiul Nobel pentru fizică, în anul 1932. În prezent, Heisenberg este profesor de fizică teoretică și director al Institutului de fizică „Max Planck" din R.F.G.

Colecția „Savanți de pretutindeni"

EDITURA ȘTIINȚIFICĂ

ÎN ACEEAȘI COLECȚIE AU MAI APĂRUT:

M. Rouzè

Robert Oppenheimer

B. G. Kuzneţov

Einstein

H. Cuny

Camille Flammarion

B. Jaffe

Albert Michelson

Lei 7,75

Lei 7,75

Lei 4,50